



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**İÇME SUYU ARITMA TESİSİNDE HAM SU POMPASINDA KULLANILAN
ASENKRON MOTORLARIN YOL VERME İŞLEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE EKONOMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa DOĞAN

DANIŞMAN: Prof. Dr. Fikret YÜKSEL

**YALOVA
OCAK 2025**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

İÇME SUYU ARITMA TESİSİNDE HAM SU POMPASINDA KULLANILAN
ASENKRON MOTORLARIN YOL VERME İŞLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE
EKONOMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa DOĞAN
228107014

DANIŞMAN: Prof. Dr. Fikret YÜKSEL

YALOVA
OCAK 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “İÇME SUYU ARITMA TESİSİNDE HAM SU POMPASINDA KULLANILAN ASENKRON MOTORLARIN YOL VERME İŞLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE EKONOMİK ANALİZİ” başlıklı bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Mustafa DOĞAN



ÖNSÖZ

Tez çalışmamda her türlü katkı ve teşviklerini esirgemeyen başta değerli hocam Prof. Dr. Fikret Yüksel' e, proje esnasında teknik veri paylaşımında bulunan AEMOT Elektrik Motor Sanayi AŞ. Firmasına, yine proje boyunca arıtma tesisi hakkında yardımlarından faydalandığım DSİ Bursa 1. Bölge Müdürlüğü' ne teşekkür ederim.

Ocak 2025

Mustafa DOĞAN





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	4
2. ASENKRON MOTORLARIN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	11
2.1. Asenkron Motorun Yapısı.....	11
2.2. Asenkron Motor Çalışma Prensibi.....	13
2.3. Asenkron Motor Çeşitleri.....	13
2.3.1. Sincap kafesli asenkron motorlar	13
2.3.2. Bilezikli asenkron motorlar	13
2.4. Asenkron Motorlara Yol Verme	14
2.4.1. Doğrudan yol verme	14
2.4.2. Yıldız/üçgen yol verme	14
2.4.3. Ototransformatör ile yol verme	14
2.4.4. Dirençle yol verme	14
2.4.5. Yumuşak yol verme (soft starter).....	15
2.4.6. Sürücü ile yol verme.....	15
2.5. Asenkron Motorlarda Verimlilik Sınıfı.....	15
2.6. Asenkron Motorlarda Değişken Hız Sürücüleri.....	17
2.7. Asenkron Motor Kontrol Yöntemleri.....	17
3. YALOVA İLİ İÇME SUYU ARITMA TESİSİ.....	19
3.1. Genel	19
3.2. Pompa İstasyonu	19
3.3. Giriş ve Havalandırma Yapısı.....	24
3.4. Kimyasal Maddeler Binası.....	25
3.4.1. Kimyasal maddelerin depolanması	27
3.4.2. Kimyasal madde besleme tankları.....	29
3.4.3. Kimyasal madde eriyik tankları ve M1-M2 karıştırıcısı	29

3.5. Flakülasyon Havuzları	30
3.6. Durultma Ünitesi	31
3.7. Filtre Binası.....	32
3.7.1. Filtreler	33
3.7.2. M3 karıştırıcısı	35
3.7.3. Temiz su deposu.....	36
3.8. Hesaplamalar.....	36
3.8.1. Ham su pompa istasyonu.....	36
3.8.2. Terfi çapı hesabı	37
3.8.3. Pompa hesapları	39
3.9. Asenkron Motorlarda Mekanik Arızalar	40
3.9.1. Mekanik arızalarda rulmanların önemi ve yapısı	41
3.9.2. Asenkron motorlarda titreşim.....	41
3.9.3. Asenkron motorlarda gürültü	42
3.10. AEMOT Marka Asenkron Motora Ait Titreşim Ve Gürültü Ölçümleri.....	43
3.10.1. Titreşim ölçümleri	43
3.10.2. Gürültü ölçümleri	44
4. ANA POMPA İSTASYONUNDA YAPILAN İYİLEŞTİRMELER	45
4.1. Helmke Marka Bilezikli Asenkron Motora Ait Ölçümler	46
4.2. AEMOT Marka IE4 Verimli Asenkron Motora Ait Ölçümler	48
4.3. Enerji Tasarruf Analizi.....	50
4.4. Asenkron Motorlarda Enerji Verimliliği Hata Analizi	55
4.4.1. Güç dağılımı	55
4.4.2. Verim.....	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR	59
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ	63

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Akışın gerçekleştiği borunun kesit alanı (m ²)
AB	: Avrupa Birliği
AEMOT	: Anatolian Electric Motors
AGM	: Alçak Gerilim Motorları
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CEMEP	: Avrupa Elektrik Makinaları ve Güç Sistemleri Üreticileri Komitesi
D	: Boru çapı (m)
DHS	: Değişken Hız Sürücüsü
DSİ	: Devlet Su İşleri
EFF	: Elektrik Motorları Verimlilik Sınıfları
EISA	: Enerji İstikrarı ve Güvenliği Yasası
EPAct	: Enerji Politikası Yasası
ErP	: Enerji İle İlgili Ürünler Direktifi
f	: Güncel sanayi elektriği fiyatı (TL/kWh)
f _m	: Yeni motor maliyet fiyatı (TL)
ΔH	: Sistemin basma yüksekliği (m)
IEC	: Uluslararası Elektronik Komisyonu
IE3	: Çok Yüksek Verimlilik
IE4	: Süper Çok Yüksek Verimlilik
K	: Yıllık enerji tasarrufu (kWh)
L	: Boru boyu (m)
NEMA	: Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği
PH	: Hidrojenin Gücü
P _{mm}	: Mevcut elektrik motorunun şebekeden çektiği güç (kW)
P _{ym}	: Yeni elektrik motorunun şebekeden çektiği güç (kW)
Q	: Birim zamanda borudan geçen sıvının hacmi (lt/sn-m ³ /h)
t	: Yılda kullanım zamanı (h)
t _ö	: Motor yenilemenin geri ödeme süresi (ay)
v	: Akışkanın boru içindeki çizgisel hızı (m/sn)
Y	: Yıllık enerji tasarrufu değeri (TL)



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1 : Tasarlanan motorun özellikleri ve IE3 standart motor karşılaştırması.....	7
Tablo 1. 2 : Referans motor-iyileştirilmiş motor test sonuçları karşılaştırılması	8
Tablo 3. 1 : Ham suyun barajdaki su alma yapısından arıtma tesisine geçiş kotlarının listesi.....	39
Tablo 3. 2 : Ham suyun ana pompa istasyonunda arıtma tesisine pompaj listesi.....	40
Tablo 3. 3 : Asenkron motorlarda titreşim oranları	42
Tablo 3. 4 : Asenkron motorlarda gürültü oranları	43
Tablo 4. 1 : Ana pompa istasyonunda mevcut ve yeni elektrik motorlarının karşılaştırılması.....	50
Tablo 4. 2 : Besleme gerilimindeki değişimlerin motor verimine etkisi	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1 : Asenkron motorun genel yapısı.....	11
Şekil 2. 2 : Asenkron motorun parçaları.	12
Şekil 2. 3 : Rotor ve stator	13
Şekil 2. 4 : Elektrik motoru verimlilik standartının karşılaştırılması	15
Şekil 2. 5 : IEC elektrik motoru verimlilik limitleri	16
Şekil 3. 1 : Gökçe barajı.....	19
Şekil 3. 2 : Ana pompa istasyonu	20
Şekil 3. 3 : Ana pompa istasyonu motorların yerleşim yapısı	21
Şekil 3. 4 : Ana pompa istasyonu motorlar.....	23
Şekil 3. 5 : Ana pompa istasyonu elektrik tek hat şeması.....	23
Şekil 3. 6 : Giriş ve havalandırma yapısı	24
Şekil 3. 7 : Kimyasal maddeler binası	25
Şekil 3. 8 : Kimyasal maddelerin depolanma yeri	26
Şekil 3. 9 : Klor dozlama ünitesi.....	27
Şekil 3. 10 : Kimyasal depolama ve dozlama ünitesi	28
Şekil 3. 11 : Durultma üniteleri	31
Şekil 3. 12 : Filre binası ve filtre üniteleri	33
Şekil 3. 13 : İnvörtörlü motorun titreşim ölçümleri.....	43
Şekil 3. 14 : İnvörtörlü motorun gürültü ölçümleri.....	44
Şekil 4. 1 : 315kW bilezikli asenkron motor	46
Şekil 4. 2 : 315kW bilezikli asenkron motorun ölçümleri.....	46
Şekil 4. 3 : Bilezikli asenkron motorun giriş gerilim- akım değerleri	47
Şekil 4. 4 : 315kW IE4 verimli asenkron motor	48
Şekil 4. 5 : 315kW IE4 verimli asenkron motorun ölçümleri.....	48
Şekil 4. 6 : IE4 verimli asenkron motorun giriş gerilim-akım değerleri.....	49



İÇME SUYU ARITMA TESİSİNDE HAM SU POMPASINDA KULLANILAN ASENKRON MOTORLARIN YOL VERME İŞLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE EKONOMİK ANALİZİ

ÖZET

Dünyada, enerji tüketiminin ve maliyetlerinin artması ile birlikte tasarruf tedbirleri alınmaya başlanmış, çalışan sistem üzerinde yapılan bazı iyileştirmeler ile enerjinin daha verimli halde kullanılması sağlanmıştır. Hali hazırda çalışan sistemler üzerinde tasarlanmış elektrik motorlarının kapasitelerine göre harcadığı elektrik miktarlarının daha aşağıya nasıl indirilebilir konuları gündeme gelmiştir. Bu süreçte elektrik tüketimi en fazla olan asenkron motorlarının enerji sınıflarında ve yol verme sistemlerinde yapılan iyileştirmeler ile elektrik tüketiminde tasarruf elde edilmiştir. Suyun doğal akışı ile arıtma tesislerinin bulunduğu noktadan şehir içerisindeki depolara aktarımının sağlanabilmesi için belli bir kot üzerine tesis edilmesi gerekmektedir. Şehirlerin topografik yapısına göre, baraj seviyesinin ham su toplanma kotunun arıtma tesisi inşaatının bulunduğu kottan düşük olması ham suyun arıtma tesisine ulaşımına engel olmaktadır. Bu aşamada barajdaki su alma yapısından serbest bırakılan ham suyun arıtma tesisine ulaştırılabilmesi için pompaj yapılması gerekmektedir. Pompaj işlemi için genellikle asenkron motorlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Yalova içme suyunu sağlayan Gökçe Barajından serbest bırakılan ham suyun arıtma tesisine ulaşmasını sağlayan ve hali hazırda çalışan bilezikli asenkron motorlarına ait tesis değerlendirilmiştir. Tesiste, barajdaki seviyeye göre çeşitli güçlerde çalışan 6 grup ve toplamda 14 adet pompa bulunmaktadır. Her gruptan bir adet bilezikli asenkron motor yerine IE4 verimli asenkron motor kullanılması ve yol verme sisteminin sürücülü panolar ile sağlanması değerlendirilmiştir. Gerekli debi miktarına frekans üzerinden ayarlama yapılarak motorların devirleri kontrol edilmiştir. Sistemde IE4 verimli (%93,8) AEMOT marka asenkron motor kullanılması değerlendirilmiştir.

Çalışma şartlarına bağlı değerlendirmede inverterli IE4 asenkron motorun hali hazırda çalışan redresörlü bilezikli asenkron motora göre saatte %2,47 oranında daha az elektrik tükettiği görülmüştür. Motorların günlük 8 saat çalıştırılması dikkate alındığında invertörlü IE4 asenkron motorun yıllık enerji tasarrufunun 23.933 kWh olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bilezikli asenkron motor kullanımının gerektirdiği vana kısılması yerine frekansla devir kontrolünün sağlanmasının enerji tasarrufunu artıracığı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Asenkron motor, Sürücü, Verimlilik



COMPARISON AND ECONOMIC ANALYSIS OF STARTING PROCESSES OF ASYNCHRONOUS MOTORS USED IN RAW WATER PUMP IN DRINKING WATER TREATMENT PLANT

ABSTRACT

With the increase in energy consumption and costs in the world, saving measures have begun to be taken, and some improvements on the operating system have enabled energy to be used more efficiently. The issue of how to reduce the amount of electricity consumed by electric motors designed on currently operating systems, according to their capacities, has been brought to the agenda. In this process, savings in electricity consumption were achieved through improvements made in the energy classes and starting systems of asynchronous motors, which consume the most electricity. In order to ensure the natural flow of water from the point where the treatment facilities are located to the tanks within the city, it needs to be installed on a certain level. According to the topographic structure of the cities, the fact that the raw water collection level of the dam level is lower than the elevation where the treatment plant construction is located prevents the raw water from reaching the treatment plant. At this stage, pumping is required to deliver the raw water released from the water intake structure in the dam to the treatment plant. Asynchronous motors are generally used for pumping.

In this study, the facility of currently operating ring asynchronous motors, which allows the raw water released from the Gökçe Dam, which provides Yalova drinking water, to reach the treatment plant, was evaluated. In this facility, there are 6 groups and a total of 14 pumps operating at various powers depending on the level in the dam. It was evaluated to use IE4 efficient asynchronous motor instead of one slip-ring asynchronous motor from each group and to provide the starting system with driver panels. The speed of the motors was controlled by adjusting the required flow rate via frequency. The use of IE4 efficiency (93.8%) AEMOT brand asynchronous motor in the system was evaluated.

In the evaluation based on the operating conditions, it was observed that the IE4 asynchronous motor with inverter consumed 2.47% less electricity per hour compared to the currently operating slip-ring asynchronous motor with rectifier. Considering that the motors are operated for 8 hours per day, the annual energy saving of the IE4 asynchronous motor with inverter is determined to be 23,933 kWh. In addition, it has been evaluated that providing speed control with frequency instead of valve throttling required by the use of slip-ring asynchronous motors will increase energy savings.

Key words: Asynchronous motor, Driver, Productivity



1. GİRİŞ

Ülkemizde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı, 2000 yılında 1.652 m³, 2009 yılında 1.544 m³ ve 2020 yılında 1.346 m³ olarak kaydedilmiştir. Türkiye, kişi başına düşen su potansiyeline bakıldığında, suyun verimli ve tasarruflu kullanımının önemini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, su kaynaklarının depolama tesisleri aracılığıyla değerlendirilip çok amaçlı bir şekilde kullanılması yönünde çalışmalar sürdürülmektedir.

Depolamalı tesisler; nehirlerin veya akarsuların üzerine inşa edilen barajların arkasında baraj gölü veya set gölü olarak bilinen rezervuar alanlarının oluşturulmasını gerektirir. Yağmur suyu, yeraltı suyu, sızma kuyularından gelen sular ile göller ve nehirler gibi su kütlelerinden gelen sular ham su olarak depolama alanlarında toplanır. Doğal birikme sonucu oluşturulan ham su içeriğinde mineraller, iyonlar, parçacıklar, bakteriler veya parazitler bulunabilir.

Bu rezervuar alanlarında toplanan su (ham su) çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bunlar;

1. **Hidroelektrik Enerji Üretimi:** Barajın arkasındaki rezervuarda depolanan su, türbinlerden geçirilerek jeneratörleri döndürür ve elektrik enerjisi üretir.
2. **Sel Kontrolü:** Nehir akışının düzenlenerek aşırı yağış veya kar erimesi dönemlerinde selin önlenmesine yardımcı olur. Depolanan su, kontrol altında, sel oluşturmayacak şekilde bırakılır.
3. **Su Temini:** Tarım sulaması, içme ve ev kullanımı için belediye su temini, endüstriyel su tedariki gibi çeşitli amaçlarla güvenilir bir su kaynağı sağlar.
4. **Rekreasyon:** Genellikle tekne gezisi, balık tutma, yüzme ve kamp gibi rekreasyonel etkinliklere olanak sağlar ve bölgesel turizm ve ekonomik kalkınmaya katkıda bulunur [1].

Ham suyun içeriğindeki kirletici maddeleri veya istenmeyen bileşenleri uzaklaştırmak ve/veya konsantrasyonlarını azaltmak için içme suyu arıtma tesisinde işlenir. İllerdeki içme suyu, ham su olarak barajlarda toplanan suyun işlenerek içilebilir şartlara getirilmesini ve kullanım alanlarında istenilen basınç düzeyinde kullanımının sağlanması işlemlerini kapsamaktadır. İçme suyu terfi merkezleri, düşük kotlarda bulunan içme suyunun yüksek kotlardaki depolara taşınmasını veya yüksek rakımlı

yerleşim alanlarına istenilen şebeke basıncında iletilmesini sağlayan tesislerdir. Bu merkezler; pompa binası, pompalar, vanalar, elektrik panoları ve trafo gibi bileşenlerden oluşur [2].

Bazı bölgelerde topografik yapının da etkisiyle arıtma tesisinin neredeyse deniz seviyelerinde inşa edilmesi negatif sonuçlar doğurmaktadır. Dolayısıyla arıtılan suyun şehre kendi cazibesi ile ulaşması için yüksek kodlara pompalanması gerekmektedir. Bu tarz uygulamalar pompalama işlemlerinde kullanılan elektrik motorlarının enerji tüketim miktarını dolayısıyla da enerji maliyetlerini artırmaktadır. Kurulan sistemlerin verimsiz kullanımı ve artan enerji maliyetleri de büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Harcanan enerjinin daha verimli kullanılması için bu tip sistemlerdeki uygulamaların daha bilinçli olmasını gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar, dünya genelinde tüketilen enerjinin %53'ünün elektrik motorları tarafından kullanıldığını göstermektedir. Türkiye'de ise tüketilen enerjinin %36'sı elektrikli motorlar ve motor sistemlerine aittir. Elektrik motorlarında gerçekleştirilecek iyileştirmeler, endüstriyel tesislere önemli faydalar sağlayabilir. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın verimlilik üzerine yaptığı çalışmalara göre, basınçlı hava sistemlerinde %33, fan sistemlerinde %22 ve pompa uygulamalarında %22 oranında iyileştirme potansiyeli bulunmaktadır [3].

Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren önemli cihazlardır. Temel çalışma prensibi, stator bobinlerine uygulanan üç fazlı alternatif akımın oluşturduğu manyetik alanlar sayesinde rotorun hareket etmesine ve böylece mekanik iş üretilmesine dayanır. Farklı kullanım alanlarına ve gereksinimlere uygun olarak çeşitli özelliklerde tasarlanan bu motorlar, verimlilik, güç ve hız kontrolü gibi kriterlere göre optimize edilir. Ayrıca, yatak sistemleri, soğutma mekanizmaları ve koruyucu kaplamalar gibi tamamlayıcı bileşenlerle de donatılır.

Elektrik motorları, doğru akım motorları ve alternatif akım motorları şeklinde iki gruba ayrılır. Doğru akım motorları, sabit bir doğru akım kaynağına bağlıdır ve manyetik alanın yönünü değiştirmeden rotoru döndürmek için elektromıknatıs veya sabit mıknatıslar kullanır. Alternatif akım motorları ise değişken akım kaynaklarına bağlıdır ve manyetik alanın yönünü düzenli aralıklarla değiştirerek rotoru döndürür [4].

Alternatif akım motorları grubuna giren asenkron motorlar, uygun maliyetleri, az bakım gerektirmeleri, birkaç watt ile 3500 kW arasında güç üretebilmeleri, yüksek tork

değerlerini sağlamaları, farklı fazlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmaları, geniş bir devir sayısı aralığında ayarlanabilir olmaları ve çalışma sırasında elektrik arkı oluşturmamaları gibi avantajlarıyla sanayide en çok tercih edilen motor türlerinden biridir. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürme işlevine sahip olan bu motorlar; pompalar, fanlar, kompresörler, değirmenler, taşıma sistemleri ve mermer kesme makineleri gibi pek çok makine ve ekipmanda yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

Asenkron motorlar genel olarak stator ve rotor olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Stator, motorun sabit duran kısmıyken rotor, hareketli olan bölümdür. Alternatif akım motorları sınıfına giren asenkron motorlar, diğer elektrik motorlarına kıyasla daha ekonomik olmaları ve daha az bakım gerektirmeleriyle öne çıkar. Ayrıca, tehlikeli ve kirli çalışma ortamlarında sorunsuz bir şekilde çalışma özelliğine sahiptirler. Bu avantajlarından dolayı asenkron motorların kullanım oranı giderek artmıştır. Kullanımın yaygınlaşmasıyla birlikte, farklı iş alanlarında bu motorların değişken hızlarda çalıştırılma gereksinimi ortaya çıkmıştır [6].

Endüstride kullanılan motorlar arasında %95 paya sahip olan asenkron motorlar, 2000’li yılların başına kadar şebeke frekansında, yani sabit hızda kullanılabilecek şekilde üretilmiş ve kullanılmıştır. Bu tarihten sonra yarıiletken teknolojisine bağlı olarak, mevcut asenkron motorlar değişken hız çalışmasına tamamen uygun hale getirilmiştir [7].

Asenkron motorlarda enerji verimliliğini artırmak için;

- a. Değişken hızlı motorlar kullanılmalı,
- b. Verimli motor sınıfı seçilmeli,
- c. Evsafına uygun motor seçilmeli,
- d. Enerji besleme işleminin kalitesine önem verilmelidir,
- e. Çalışma sistemlerinin uygunluğuna dikkat edilmelidir.

Bilezikli asenkron motorlar, sincap kafesli asenkron motorlardan ayrılarak rotor sargılarının dışarı çıkarıldığı ve kömür fırçaları aracılığıyla elektriksel bağlantı sağlanan motor türleridir. Bu motorlarda çalışma koşullarına bağlı olarak hız değişikliği yapılamadığı için pompalama işlemlerinde motor üzerinden debi değişikliği gerçekleştirilmesi mümkün değildir.

Tez çalışması kapsamında Yalova ili içme suyu arıtma tesisine ham suyun pompalanmasını sağlayan sistemlerde kullanılan bilezikli asenkron motorların çalışma şartları değerlendirilerek enerji verimliliği için yapılması gerekenler araştırılmıştır.

1.1 Literatür Taraması

Enerjinin verimli bir şekilde üretilmesinin yanı sıra tüketimi de doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından artan bir öneme sahiptir. Enerji genellikle senkron makinelerle üretilirken, tüketimi ise çoğunlukla asenkron motorlar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Asenkron makineler, dayanıklılıkları, düşük maliyet ve yüksek performans özelliklerinin yanı sıra doğrudan şebekeden beslenebilme yetenekleri ve güç elektroniğindeki gelişmeler sayesinde endüstride yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır [8].

Güç elektroniği alanındaki gelişmeler, asenkron makinelerin hız kontrolünün gerektiği uygulamalarda daha yaygın bir şekilde kullanılmasını olanaklı hale getirmiştir [9].

Son yıllarda meydana gelen teknolojik ilerlemeler, asenkron motorların hızını 60.000 d/dk seviyelerine çıkarabilmenin yanı sıra güç değerlerinde de artışa olanak tanımıştır. Asenkron motor seçimi sırasında besleme tipi (tek fazlı veya üç fazlı), şebeke frekansı, şebeke voltajı, motor gücü, devir sayısı ve verimlilik gibi birçok parametrenin dikkate alınması gereklidir. Bu parametreler, motor tasarımında kullanılan malzemeleri (örneğin, laminasyon kalınlığı ve iletken kesiti), performans göstergelerini (verimlilik, güç faktörü, kalkış torku), çalışma sıcaklıklarını, çerçeve boyutlarını, shaft çapını, soğutma türünü ve koruma sınıfı özelliklerini de kapsayacak şekilde uluslararası standartlara uygun olarak belirlenmektedir. Standartların kullanımı tasarım sürecini belirli ölçüde sınırlasa da malzeme temini ve üretim süreçlerinin daha ekonomik hale gelmesini sağladığından yaygın şekilde tercih edilmektedir [8].

Asenkron motorların tasarımı, kullanım alanı, çalışma prensibi, malzeme türleri, sargılar, elektrik devresi parametrelerinin hesaplanması, eşdeğer devreler, kalkış ve hız kontrol yöntemleri, akı harmonikleri ve tork dalgalanmaları, kayıplar, termal modelleme ve soğutma tipi gibi birçok faktörün bir arada değerlendirilmesini zorunlu kılar. Uygulama türüne bağlı olarak güç faktörü, kalkış torku, hedeflenen verim, devir sayısı ve toplam maliyet gibi parametreler farklılık gösterebilir. Ancak tasarım sürecinde, çoğu zaman bu birbirine zıt etkiler yaratan bileşenleri aynı anda optimize etmek mümkün değildir [10].

Boldea ve Nasar, motor tasarım sürecini beş ana başlık altında ele almıştır: elektriksel, manyetik, yalıtım, termal ve mekanik tasarım [8].

Elektriksel tasarım bölümünde, asenkron motorların şebeke gerilimi, frekansı ve faz sayısı tasarımın temel unsurlarını oluşturmaktadır. Bu verilerden yola çıkarak minimum güç faktörü ve hedef verim belirlenir. Ardından motor bağlantı türü (yıldız-üçgen), sarım tipi, kutup sayısı ve sargı faktörü gibi parametrelerin hesaplamaları gerçekleştirilir.

Manyetik tasarım da ise motorun gücü, hızı, oluk sayıları, soğutma tipi ve rotor çapı gibi özellikler dikkate alınarak hesaplamalar yapılır. Daha sonra akım ve manyetik akı yoğunlukları kullanılarak paket uzunluğu belirlenir. Bu veriler ışığında oluk boyutları, nüve yüksekliği ve stator dış çapı (D_{out}) tanımlanır. Elde edilen D_{out} değeri uygun standartlara göre seçilir ve bu değere uygun şekilde, akı yoğunluklarının istenen seviyeye ulaşması için paket uzunluğu ayarlanır.

İzolasyon tasarımı aşamasında, motorun çalışma ortamına uygun izolasyon malzemesi ve kalınlığı seçilir. Ayrıca oluk, gövde ve iletkenin izolasyon yapısının detayları tasarlanır. Bu süreç, motorun performansını etkileyen çevresel faktörler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir.

Termal tasarım da, motorda oluşan kayıpların sebep olduğu ısınmanın güvenli limitler içinde tutulması amaçlanır. Sargılar, rotor ve statorun korunması için sıcaklık değerlerinin kontrol edilmesi gerekir. Farklı uygulama türlerine veya güç faktörüne bağlı olarak çeşitli soğutma metotları devreye alınır. Yaygın olarak hava ile soğutma tercih edilse de 10.000 d/dk'nın üzerinde çalışan yüksek hızlı asenkron motorlarda statoru soğutmak için suyla soğutma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu bölümde ayrıca motor kayıpları ve ısınma hesaplamaları detaylı bir şekilde incelenir.

Mekanik tasarım kapsamında ise kritik dönüş hızları, titreşim ve gürültü modlarının analizi gerçekleştirilir. Şaft üzerinde oluşan mekanik gerilmelerin yanı sıra bu etkilerin yol açtığı deformasyonlar ile atalet momenti hesaplanır. Aynı zamanda rulman seçimi gibi tamamlayıcı mekanik analizler de bu aşamada değerlendirilir.

Bayram (2007), tarafından gerçekleştirilen çalışmada asenkron motorun rotor hızının hız sensörü olmaksızın kestirilmesine yönelik uygulama yapılmıştır. Rotor hızı kestirimi için Yapay Sinir Ağları kullanılmış, sistem simülasyon ortamında gerçek verilerle gerçekleştirilmiştir. Deneylerde yüksüz durum ile ilgili çalışmaların yanı sıra yüklü

durumlarla ilgili çalışmalarda yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda asenkron motorun rotor hızının yapay sinir ağları ile yüksek doğrulukta kestirim edilebildiği görülmüştür.

Okta (2009), çalışmasında asenkron motorların kontrol yöntemlerinden doğrudan vektör kontrol ve doğrudan moment kontrol yöntemlerini değerlendirmiştir. Simülasyonlar, yüksüz, sabit yüklü ve değişken yüklü olmak üzere üç farklı senaryoya göre gerçekleştirilmiş ve her bir durumda hız ve akı kestirimi yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, rotor hızı ile referans hız arasındaki ortalama karesel hata değerinin doğrudan vektör kontrol yönteminde, doğrudan moment kontrol yöntemine kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir [11].

Gök (2015), çalışmasında 1.5 kW gücündeki AGM 90 S 2 tip standart verimli motor ile aynı güce sahip AGM2E 90 S 2 tip yüksek verimli motorun fiziksel boyutlarını, eşdeğer devre parametrelerini, moment değişimlerini, demir ve bakır kayıplarını, ayrıca verim değerlerini karşılaştırmıştır. Motorlar arasındaki fiziksel farklılıkları belirlemek amacıyla, her iki motor demonte edilerek fiziksel parametreleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, motor performansını önemli ölçüde etkileyen stator ve rotor oluk yapıları, iç ve dış çap ölçüleri, sargı yapıları, kullanılan stator ve rotor nüve malzemelerinin (B-H, W/kg) her iki motor için de aynı olduğu saptanmıştır. Ayrıca mil çapı, rulman, bilye, kısa devre halkasının eni ve boyu, soğutma kanatçıkları, dış gövde malzemesi ve yapısı, stator ve rotor oluk sayıları, fan yapısı gibi diğer bileşenlerin de her iki motor türünde benzer olduğu görülmüştür [12].

Yapılan analizler, yüksek verimli motorlarda demir kayıplarının %11,46 oranında daha büyük olduğunu ortaya koymuştur. Bakır kayıpları incelendiğinde ise yüksek verimli motorun kayıplarının, standart verimli motora kıyasla %8,69 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Standart verimli motorun verim değeri %76,14 olarak hesaplanırken, yüksek verimli motorun verimi %78,12 olarak tespit edilmiştir [12].

Al-Qoshachee (2017) tarafından yapılan çalışmada, Maxwell programı kullanılarak 5.5 kW gücünde sincap kafesli yüksek verimli bir motor tasarlanmış ve bu motorun verimliliği IE3 sınıfı verimli bir asenkron motor ile karşılaştırılmıştır. Performans analizi aşamasında, asenkron motorun tam eşdeğer devre modeli kullanılarak motorun performans karakteristikleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, motora ait stator akımı-hız, güç faktörü-hız, giriş gücü-hız, çıkış gücü-hız, verim-hız ve moment-

hız grafikleri elde edilen deney sonuçları temel alınarak çizilmiş ve bu grafikler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Sonuçlar, daha anlaşılır bir şekilde sunulabilmesi için tablo haline getirilmiştir (Tablo 1.1) [13].

Tablo 1.1. Tasarlanan motor ve IE3 standart motor karşılaştırması.

Parametreler	Tasarlanan Motor	IE3 Standart Motor
Stator faz akımı (A)	10,2139	10,4
Giriş gücü (kW)	6,07466	6,072
Çıkış gücü (kW)	5,50021	5,500
Verimlilik (%)	90,5434	89,6
Güç faktörü	0,850669	0,855
Nominal kayma	0,0211569	0,027973
Nominal mili hızı (d/d)	1.468,26	1455
Mekanik mili torku (Nm)	35,7722	36,04
Devrilme torku (Nm)	104,391	108,12
Devrilme tork oranı	2,91822	3
Kilitli rotor faz akımı (A)	63,4532	64,2355
Kilitli rotor tork oranı	1,30494	1,79053

En son standart IE3 verimli motorun verim değeri % 89.6 olarak bulunmuş iken yüksek verimli motorun verimi % 90.5434 olarak elde edilmiştir [13].

Acar (2018) tarafından yapılan çalışmada, asenkron motorların verimini artırmaya yönelik kullanılabilecek tasarımsal yöntemler ele alınmış ve bu yöntemlerden bazıları seçilerek referans bir motor üzerinde uygulanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan referans motor, 5,5 kW gücünde, 4 kutuplu, %88,6 verimliliğe sahip, hali hazırda üretimde olan IE2 sınıfında üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motordur [14].

Referans motorun analitik analizi için SPEED tasarım programı kullanılmış, manyetik analiz ise sonlu elemanlar yöntemiyle Maxwell 2D ticari yazılımı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları test verileriyle karşılaştırılarak, iyileştirme yapılacak yöntemler belirlenmiş ve referans motora tasarımsal olarak entegre edilmiştir [14].

İyileştirilmiş bir motor modeli oluşturma sürecinde, test sonuçları doğrultusunda geliştirilmesi gereken alanlar belirlenmiştir. Mevcut motorun test verileri incelendiğinde, demir kayıplarının önemli bir orana sahip olduğu görülmüştür. Bu kayıpları azaltmak amacıyla, geliştirilmiş tasarımda manyetik malzeme kaynaklı kayıpları düşürme performansı daha yüksek olan M270 model silisli sac tercih edilmiştir. Bakır kayıplarını azaltmak için ise stator tarafında sargı doluluk oranı iyileştirilmiş; 1.0 puan olan doluluk değeri 1.3 puana yükseltilerek motorun elektriksel iletkenliği artırılmıştır. Tasarımsal iyileştirmelere ek olarak, mekanik kayıpları azaltmak için daha verimli rulmanlar kullanılmış ve motorun mekanik tasarımı bu doğrultuda yeniden düzenlenmiştir (Tablo 1.2) [14].

Tablo 1.2. Referans motor-iyileştirilmiş motor test sonuçları karşılaştırılması.

Parametre	Referans Tasarım	Yeni Tasarım
Devir sayısı (s-1)	1459	1462
Anma momenti (Nm)	36,1	36,0
Kalkış akımı (A)	93,2	97,4
Stator bakır kayıpları (W)	281	213
Rotor bakır kayıpları (W)	158	144
Demir kayıpları (W)	183	139
Sürtünme ve rüzgar kayıpları (W)	42,2	20,6
Ek kayıplar (W)	49,3	37,4
Toplam kayıplar (W)	713	555
Verim (%)	88,6	90,85

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, toplam kayıp referans motorda 713 W seviyesindeyken, yeni iyileştirilmiş motor ile bu değer 555 W seviyesine düşürülmüştür. Bu azalmalar sonucunda, %88,6 verim oranı ile IE2 verim sınıfında bulunan referans motor, iyileştirilmiş tasarımı sayesinde %90,85 verim oranına ulaşarak IE4 verim sınıfına dâhil edilmiştir [14].

İmre (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, üç fazlı sincap kafesli asenkron motorların sargı yapısı üzerine deneysel analizler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında yarım kalıp ve tam kalıp sargı tipleri kullanılmıştır. Sargılar, 96 sipir/oluk, 106

sipir/oluk ve 116 sipir/oluk olmak üzere üç farklı sipir sayısına sahiptir. Toplamda altı adet üç fazlı asenkron motor incelenmiş; bunlardan üçü yarım kalıp, diğer üçü ise tam kalıp olarak tasarlanmıştır [15].

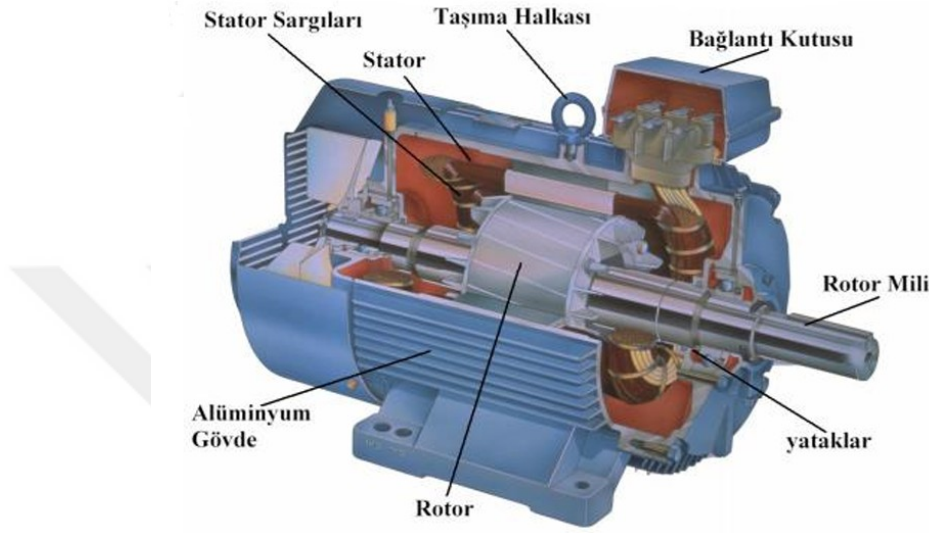
Çalışmada sargıların etkisinin görülebilmesi amacıyla her bir motor için boşta çalışma, kısa devre çalışma ve yüklü çalışma deneyleri yapılmıştır [15].

Bu çalışmalar sonucunda, üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlarda sargı yapısının ve oluklara yerleştirilen sipir sayısının öneminin belirgin bir şekilde ortaya çıktığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, 96, 106 ve 116 sipir sayısına sahip yarım ve tam kalıp motor modellerinde, sipir sayısının artmasıyla direnç değerlerinde belirgin bir yükseliş meydana gelmiştir. Nümerik yöntemlerden faydalanılarak en iyi performans değerini sağlayacak sipir sayısının belirlenmesinin, hem performans açısından hem de maliyet etkinliği bakımından yarar sağlayacağı değerlendirilmiştir [15].



2. ASENKRON MOTORLARIN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Asenkron motorlara çalışma ilkesi yönünden indüksiyon motorları da denir. Asenkron motor, genellikle alternatif akım gücünün etkisiyle bir rotorun sabit hızda dönmesini sağlamak için döner manyetik alanlar arasında etkileşime girmesi sonucu hareket etmesi olayıdır [7].



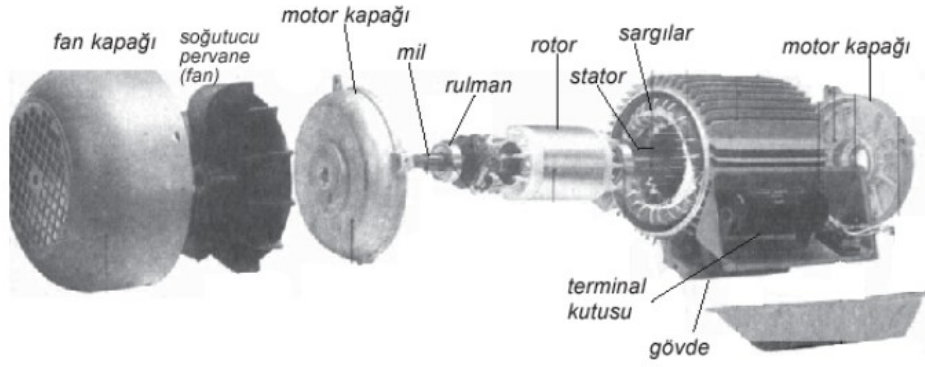
Şekil 2.1: Asenkron motorun genel yapısı [7].

Asenkron motorların temel çalışma prensibi, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmektir. Bu motorları senkron motorlardan ayıran en önemli özellik ise dönme hızlarının sabit olmamasıdır. Asenkron motorlarda hız, senkron hıza göre daha düşüktür. İşte bu nedenle bu motorlar asenkron motor olarak adlandırılır [7].

Asenkron motorların diğer motorlara göre ucuz olması, çok bakım gerektirmemesi, güvenlik açısından tehlike oluşturmaması sebebiyle en çok kullanılan motorlardır.

2.1 Asenkron Motorun Yapısı

Asenkron motorlar stator ve rotor olarak iki kısımdan oluşur. Asenkron motorların diğer kısımları gövde, yataklar, motor mili, fan vb. malzemelerden oluşmaktadır [5].



Şekil 2.2: Asenkron motorun parçaları [5].

Stator

Asenkron motorun duran bölümüdür. 0,4-0,8 mm kalınlığında bir tarafı yalıtılmış sacların, özel kalıplarda paketlenmesi ile imal edilir. Bu kısma stator sac paketi denir. Stator sac paketinin iç kısmına belirli sayıda oyuklar açılır ve bu oyuklara sargılar yerleştirilir [5].

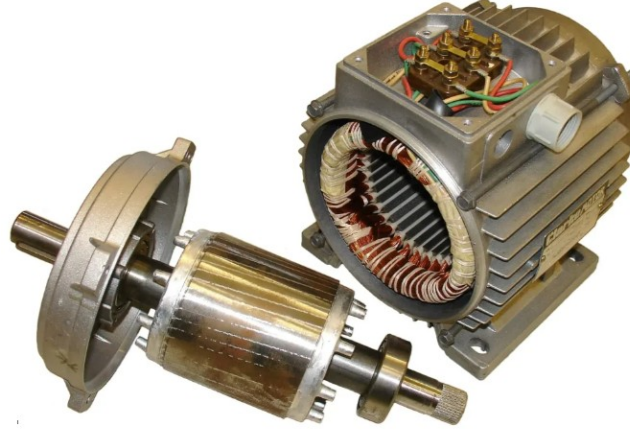
Rotor

Asenkron motorun dönen bölümüdür. Genel olarak sincap kafesli ve sargılı rotor olmak üzere iki tipte yapılır. Her ikisi de üzerine oyuklar açılıp paketlenmiş silisli sacların bir mil üzerine sıkıca yerleştirilmesinden meydana gelmiştir [2].

Rotor, sincap kafesli rotor ve bilezikli rotor olarak ikiye ayrılır.

a. Sincap Kafesli Rotor: Rotor sac paketinin dış yüzüne yakın açılan oyuklar içine pres döküm ile eritilmiş alüminyum konulur. Rotor çubukları da denilen bu çubukların iki tarafı alüminyum halkalarla kısa devre edilir. Bu halkaların üzerinde bulunan kanatçıklar soğumayı kolaylaştırır. Rotor çubuklarının kısa devre edilmesi nedeniyle bu tip rotora kısa devre çubuklu rotor da denir [6].

b. Bilezikli Rotor: Stator sargılarında olduğu gibi 120° faz farklı olarak rotor oyuklarına üç fazlı alternatif akım sargısı yerleştirilip uçları, rotor mili ile yalıtılan üç bakır bileziğe bağlanmıştır. Akım, bileziklere basan fırçalar aracılığı ile sargılara uygulanır. Bundan dolayı bu motorlara bilezikli rotorlu motor da denir. Bu tip motorlarda devir sayısı ile döndürme momenti fırçalar ve rotor devresine sokulan dirençlerle kolayca ayarlanabilir [6].



Şekil 2.3: Rotor ve stator [6].

2.2 Asenkron Motor Çalışma Prensibi

3 fazlı asenkron motorlarda stator sargıları oyuklara 120° faz farkı ile yerleştirilir. Bu sargılara alternatif gerilim uygulandığında stator sargılardan geçen akım döner bir manyetik alan meydana getirir. Alanın etkisi altında kalan rotor sargıları üzerinde alternatif gerilimler indüklenir. Rotor sargıları kısa devre edilmiş ise, bu sargılar üzerinden geçen akımlar rotor döner alanını meydana getirir. Rotor döner alanı ile stator döner alanının karşılıklı etkimesi neticesinde rotor dönmeye başlar [2].

Bazı elektrik motorlarında stator içte, rotor dışta bulunur. Bu motorlarda dönen parça yine rotordur.

2.3 Asenkron Motor Çeşitleri

2.3.1 Sincap kafesli asenkron motorlar

Sincap kafesli asenkron motorların bilezikleri kısa devre edilmiştir. Bunlarda rotoru bilezikli motorlarla aynı özellikleri taşır. Kısa devre rotorunun ilk döndürme momenti küçük ve ilk akım çekişi büyüktür [7].

Daha hafif ve ekonomik olan kafes rotorlu motorlar, çok az bakım gerektirir ve fırçaları olmadığı için kıvılcım ya da parazit oluşturmazlar. Bu avantajları sayesinde, rotoru bilezikli motorlar yerine tercih edilirler. Sincap kafesli asenkron motorlar ise genellikle iş makineleri, kaldırma sistemleri ve tarım makinelerinde kullanılmaktadır [7].

2.3.2 Bilezikli asenkron motorlar

Rotoru bilezikli asenkron motorların kalkış akımları nominal akımlarından çok büyük olmadığından, bu motorlar, örneğin: büyük su pompaları, taş kırma makineleri ve büyük

takım tezgâhları gibi yüksek güç gereksinen makinelerin işletmesinde tercih edilir. Bilezikli rotorun ilk döndürme momenti çok büyük olduğundan, büyük vinçler gibi çok kuvvetli yükler altında devamlı çalışacak makinelerin kuvvet üreten kesimlerinde bu motorlardan yararlanılmaktadır. Ayrıca devir sayıları ayarlanabildiğinden kren ve ayarlı makine tezgahlarında sık sık kullanılmaktadır [7].

2.4 Asenkron Motorlara Yol Verme

Üç fazlı asenkron motorlar ilk hareket (kalkış) anında normal akımlarının 6 - 10 katı fazla akım çekerler. Bu aşırı akım küçük güçlü bir motorda şebekeye pek bir zarar vermez. Ancak gücü 4 kW tan büyük olan bir motorun ilk anda 6 - 10 kat fazla akım çekerek çalışmaya başlaması birçok olumsuz etki (tesisatin geriliminin kısa süreli olarak anormal derecede düşmesi, hatların aşırı yüklenmesi vb. gibi) ortaya çıkarır. İşte bu nedenle 4 kW tan büyük güçteki motorları ilk kalkış anında az akım çekerek çalıştırmak gerekir. Günümüzde büyük güçlü motorların ilk kalkış akımını kabul edilebilir düzeye indirebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [7].

Düşük kalkınma akımıyla çalıştırmada kullanılan bazı yöntemler şöyle sıralanabilir:

2.4.1 Doğrudan yol verme

Motorun paket, kollu şalter veya kontaktör ile doğrudan şebekeye bağlandığı yol verme sistemidir. Bu yöntem 4 kW'a kadar olan küçük güçlü motorlarda uygulanmaktadır.

2.4.2 Yıldız/Üçgen yol verme

Uygulamada en çok kullanılan yöntemdir. Stator sargıları önce yıldız şeklinde bağlanır. Bu sayede 380 volta dayanacak şekilde üretilmiş sargılara 220 volt uygulanmış olacağından motor düşük akım çekerek çalışmaya başlar. 2-4 saniye sonra yıldız bağlantısı kaldırılıp üçgen bağlantıya geçilir [7].

2.4.3 Oto transformatör ile yol verme

Motorun devresine ilk önce kademeli çıkışlı oto transformatörü sokulur. Bu sayede motor düşük gerilim altında az akım çekerek çalışmaya başlar. 2-4 saniye sonra oto transformatörü devreden çıkarılır. Uygulamada çok az karşılaşılan bir yöntemdir [7].

2.4.4 Dirençle yol verme

Bu yöntemde motorun devresine ilk önce Cr-Ni'elden üretilmiş dirençler sokulur. Bu sayede motor düşük gerilim altında az akım çekerek çalışmaya başlar [7].

2-4 saniye sonra dirençler devreden çıkarılır. Uygulamada çok az kullanılan bir yöntemdir [7].

2.4.5 Yumuşak yol verme (Soft starter)

Mikro işlemci tabanlı kontrol sistemiyle motora uygulanan gerilim ve akım kontrol edilerek motorun devreye girmesinin darbesiz olması sağlanır.

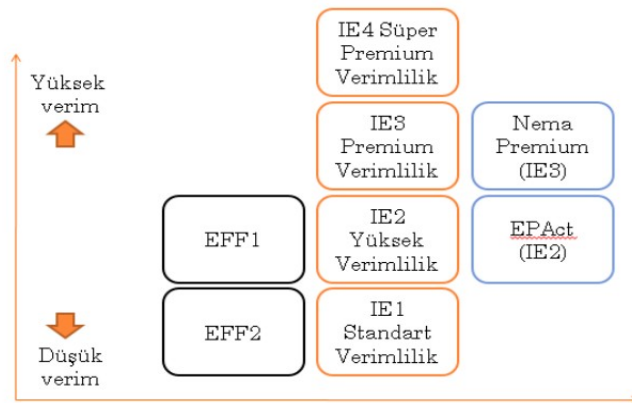
2.4.6 Sürücü ile yol verme

Asenkron motorun kutup sayısı ve frekansı değiştikçe hızı da değişir. Mikro işlemci elektronik elemanlar ile motorun stator sargısına uygulanan gerilim frekansı oranı, motorun çalışma şartlarına bağlı olarak değiştirilerek istenen devirde istenen moment elde edilir.

2.5 Asenkron Motorlarda Verimlilik Sınıfı

Dünya genelinde enerji verimliliği hareketine yönelik yürüttüğü politikalarla öncü konumunda olan ABD tarafından 1992 yılındaki bir kongre ile elektrikli motorlar için minimum verimlilik seviyelerine Enerji Politikası Yasasının (EPA Act) bir parçası olarak sınırlamalar getirildi [16].

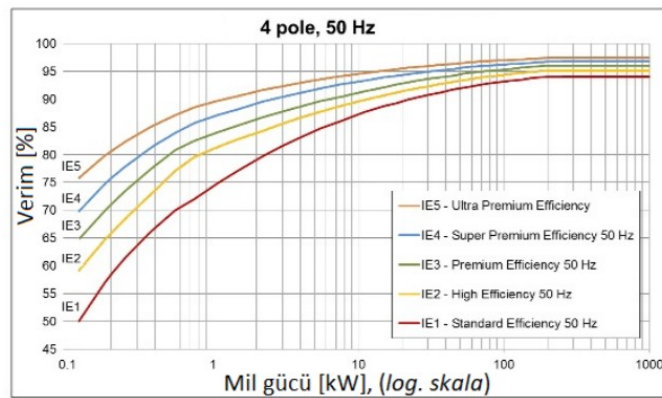
1998 yılında elektrik motoru kullanımında daha verimli motorlara geçilmesi amacı ile Avrupa Elektrik Makinaları ve Güç Sistemleri Üreticileri Komitesi (CEMEP) tarafından motor üreticileri için bağlayıcı olan EFF serisi üç elektrik motoru verimlilik sınıfı önerildi [16].



Şekil 2.4: Elektrik motoru verimlilik standartlarının karşılaştırılması [16].

2007 yılında AB tarafından çıkarılan Enerji İstikrarı ve Güvenliği Yasası (EISA) ile konu ile ilgili temel hükümlerin hazırlanmasında Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA) ile ortak çalışmalar yapıldı. Çalışmalarda hem genel amaçlı hem de özel kullanıma yönelik motorları kapsayan, verimsiz motor sistemlerinin optimize edilmesi ve daha çevreci olması amacı güden düzenlemeler önerildi. Yapılan düzenlemeler ile motor verimlilikleri Standart verimli, Enerji verimli ve Premium verimli olarak karakterize edildi [16].

Geliştirilen yenilikçi motor teknolojileri ile her geçen gün daha verimli motorların üretilmesi olanaklı hale gelirken, gelişmelere paralel olarak konu ile ilgili mevzuat ve standartlarda da güncellemelere gidildi. 2009 yılında başta AB ülkeleri olmak üzere dünyanın büyük çoğunluğu tarafından benimsen IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) 60034 serisi standartları ile motor verimlilikleri tekrar güncellenirken düzenlemelerin kapsamı artırılarak performans, gövde boyutları, işletme şartları gibi konularda da alt ve üst limitleri belirlemeye yönelik sınırlamalara da yer verildi. Söz konusu standart serisi ile 2009 yılından itibaren pazara sunulan elektrik motorları verimliliklerine göre IE kodu ile (IE1- Standart Verimlilik, IE2- Yüksek Verimlilik, IE3- Premium Verimlilik) karakterize edilerek düşük verimli elektrik motorları kademeli olarak piyasadan çekildi. Aynı yıl AB ülkeleri için bağlayıcı olan AB Enerji ile İlgili Ürünler Direktifi (ErP) ile 1 Ocak 2015 tarihinden itibaren IE3 altı verimlilikte motorların piyasadan çekileceği ön görülürken IE2 verimlilikteki motorlara sadece ayarlanabilir hızlı sürücülerle kullanılma şartı getirildi. 2014 yılında “IE4 - Süper Premium” verimlilik sınıfının da dahil edilerek güncellenen IEC 60034-30-1 (IE Kodu) standardına göre 0,12 – 1000 kW çıkış gücü aralığındaki elektrik motorların verimliliklerinde düzenlemeye gidildi [16].



Şekil 2.5: IEC elektrik motoru verimlilik limitleri [16].

Teknolojik gelişmelere paralel olarak güncellenen elektrik motoru verimlilik standartlarının karşılaştırıldığı Şekil 2.4’ teki grafikte de görüldüğü gibi yürürlükte olan standartlara göre en yüksek motor verimliliği “IE4 - Süper Premium” olarak ifade edilmektedir. Bununla beraber henüz resmi olmasa da teknolojik gelişmelere paralel olarak standartların bir sonraki sürümünde “IE5 – Ultra Süper Premium” verimlilik sınıfına da yer verilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir [5].

Şekil 2.5 ile sunulan grafikte henüz resmi olmayan IE5 verimlilik sınıfının da dahil edildiği IEC elektrik motoru verimlilik limitleri görülmektedir [16].

Konu ile ilgili Türkiye’de yürütülen çalışmalar incelendiğinde 2009 yılında yayınlanan IEC 60034-30-1 standardının 2010 yılı itibarı ile ülkemizde de yürürlüğe girdiği görülmüştür. Söz konusu standart orijinal standartta yapılan güncellemeler de gözetilerek 2012 ve 2014 yılında tekrar düzenlenmiş ve bugünkü halini almıştır [16].

2.6 Asenkron Motorlarda Değişken Hız Sürücüler

Çalışan sistem üzerinde en verimli motor gurubunu seçmenin yanında bu motor gurubunu en verimli noktada çalıştıracak mekanizmayı da kurmak gereklidir. Elektrik motorunun değişen yük gurubuna göre uygun devirde ve uygun verimlilikte çalışması için değişken hız sürücüler kullanılmaktadır. Asenkron motorlar ilk kalkınma anında nominal akımın 6-7 kat üzerinde akım çekmektedir. Dolayısıyla enerji verimliliği yönünden kayba uğramamak adına uygun hız sürücüsü kullanarak motorun devrini kontrol altına almak gerekir.

Endüstriyel uygulamalarda değişken yük uygulamaları genellikle pompa, kompresör ve fanlarda olmaktadır. Değişken debi, sıvı gibi karakteristiklerin kontrol aşamasında vana, çek valf gibi kontrol elemanları sisteme dahil edilmektedir.

2.7 Asenkron Motor Kontrol Yöntemleri

Elektrik motorlarının değişken yüke göre kontrolü için kullanılan değişken hız sürücüler, motor mili ile şebekeden yüke verilen enerjinin ve moment ile hız büyüklüklerinin kontrolünü sağlar. Sistem çalıştırılırken kontrol ya moment üzerinden yapılır ya da hız üzerinden yapılır. Sürücü moment kontrolünde çalıştırılırsa hız yük tarafından, hız kontrolünde çalıştırılırsa moment yük tarafından belirlenir.

Asenkron motorlar değişken hız sistemleri kontrolü üç şekilde yapılmaktadır;

1. Skaler Kontrol (V / f Kontrol)
2. Vektörel Kontrol (Alan Yönlendirmeli Kontrol-FOC)
3. Doğrudan Moment Kontrol (DTC)



3. YALOVA İLİ İÇME SUYU ARITMA TESİSİ

3.1 Genel

Gökçe Barajından alınacak olan ham suyun arıtılacağı arıtma tesisi, Gökçe Barajının yaklaşık 1km kuzeydoğusundaki Ihlamur Dere sırtının devamı olan eski köy mevkiinde bulunmaktadır. Bu arazi 70-95 kotları arasında yer almaktadır.



Şekil 3.1: Gökçe barajı

Arıtma ünitelerinin detaylı açıklamalarını vermek amacıyla düzenlenen bu bölümde barajdan alınan ham suyun arıtma tesisine terfiinden isaleye verilmesine kadar geçen süreç anlatılacaktır.

3.2 Pompa İstasyonu

Gökçe Barajından ham su, D.S.İ. tarafından yaptırılan bir su alma yapısı ile değişik seviyelerden alınmaktadır. Barajda normal su seviyesi kodu 79,50 m ve kademeli su alma yapısındaki giriş kapakları kotları sırasıyla,

1. Kademe	71,50 m
2. Kademe	64,50 m
3. Kademe	58,75 m
4. Kademe	53,00 m
5. Kademe	49,00 m
6. Kademe	46,00 m

Pompa istasyonu 38,00 m kodunda tesviye edilmiş baraj önündeki alana yerleştirilmiş ve pompa istasyonu giriş borusu eksen kodu 38,60 m'de bulunmaktadır.

Gökçe Barajından arıtma tesisine terfi edilecek dolayısıyla isaleye verilecek debi 1200 l/s'dir. Bu miktardaki suyun tek boru ile terfisi, terfi hattında arıza durumunda arıtma tesislerinin atıl bırakarak çok geniş bir alanın susuz kalmasına neden olabileceği göz önüne alınarak suyun paralel dönecek 2 hatla terfisi ve arıza durumunda 600 l/s su çekilebileceği hesaplara esas alınmıştır.



Şekil 3.2: Ana pompa istasyonu

21

Pompa istasyonu binasını yaklaşık 580 m² 'lık (27,35 m x 21,20 m) bir alanda pompa salonu, şalt hücresi, trafo, depo, tuvalet, makinist odası, gezer vinç ve hava kazanı kompresör birimlerini içerecek şekilde projelendirilmiştir.

Pompalar, baraj gölündeki su kademelerine göre arıtma tesisini, 96,00 m'ye basacak ve 1200 l/s iletecek şekilde kapasitelendirilmiş ve gruplandırılmıştır.

Su alma yapısı giriş kapağı kodu 71,50m olan 1. Su kademesinde, beheri 600 l/s kapasitede, 30 m (96,00-71,50+5,50) basma yüksekliğine sahip biri yedek olmak üzere toplam 3 adet pompa (1000 d/dk) kullanılmaktadır.

Barajdaki su alma yapısındaki suyun serbest bırakılacağı kot: 71,50 m

Ana pompa istasyonundan suyun pompajının yapılacağı kot: 96 m

Giriş emniyet basıncı: 5,5 m

-2. Kademe olan 64,50 m kodunda yine beheri 600 l/s kapasitede, 37,00 m (96-64,50+5,50) basma yüksekliğine sahip biri yedek olmak üzere 3 adet pompa (1000 d/dk) kullanılmaktadır.

Barajdaki su alma yapısındaki suyun serbest bırakılacağı kot: 64,50 m

Ana pompa istasyonundan suyun pompajının yapılacağı kot: 96 m

Giriş emniyet basıncı: 5,5 m

-Su alma yapısında 3. Kademe su giriş kapağı kodu 58,75 m, 4. Kademe su giriş kapağı kolu 53,00 m'dir. Tesis edilecek pompa adedini azaltmak amacıyla bu 2 kademe tek kademede düşünülerek pompa seçimi yapılmıştır. 400 l/s kapasitede 1' i yedek olmak üzere toplam 4 adet pompa (1000 d/dk) seçilmiştir. Pompaların basma yüksekliği 46,00 m'dir.

-Su alma yapısındaki 5. ve 6. Kademelerden (49,00 m ve 46,00 m) alınacak olan su pompa istasyonundaki 4. Grup pompalar ile arıtma tesisine iletilmektedir. Basma yüksekliği 54,00 m olarak hesaplanan pompalar (1000 d/dk) 400 l/s kapasitede toplam 4 adet (3 asil+1 yedek) dir.

Toplam 14 adet olan pompaların emiş çapı 500 mm basış çapı 400 mm olup ana boru bağlantı hattı 1200 mm'dir. Pompa istasyonundan arıtma tesisine giden terfi hattı yaklaşık 1000 m'dir. Terfi hattı boru çapını belirlemek üzere ekonomik terfi çapı analizi yapılmış olup bu analizde $\phi 800$, $\phi 900$, $\phi 1000$ 'lik spiral çelik borular incelenmiş, terfi

hatları için uygun hız değerleri veren 900 mm (e=7,1mm) diğer analiz sonuçları da göz önüne alınarak terfi hattı boru çapı olarak seçilmiştir.

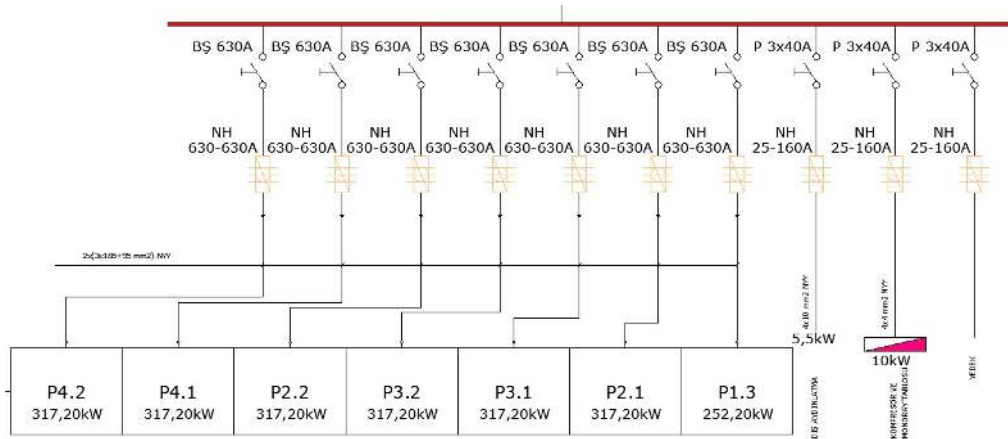
Terfi hattına boru çapı seçimi “3.8.2 Terfi çapı hesaplama başlığı” altında gösterilmiştir.

Pompa istasyonunda arıtma tesisine dönecek olan terfi hattı için darbe tahkiki analizi yapılmış olup hatta negatif basınç elde edildiğinden pompa istasyonunda hava kazanı ve kompresör yerleştirilmiştir.



Şekil 3.4: Ana pompa istasyonu motorlar

Betonarme olarak inşa edilecek olan pompa istasyonu için pompa motorları, dizel-elektrojen gurubu, saha aydınlatması ve yukarıda sayılan diğer yardımcı birimlerin güç gereksinimleri hesaplanmış olup yaklaşık 950 kW enerji sağlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu güç belirlenirken ana pompa istasyonuna ait elektrik tek hat şemasına göre hareket edilmiştir. Maksimum 3 adet pompa gurubu, vinç, kompresör ve genel aydınlatma güçlerinin toplamı çıkış gücünü belirlemektedir.



Şekil 3.5: Ana pompa istasyonu elektrik tek hat şeması

Bu talep edilen gücü karşılamak için 1600 kVA gücünde 1 adet trafo ve olağan dışı bir arıza durumunda 800 kVA gücünde 1 adet trafo yedek olarak tesis edilmiştir.

3.3 Giriş ve Havalandırma Yapısı

Ham su kalitesi ve değerlendirilmesine göre Termal Dere, Değirmen Dere ve Selimandıra Nehrinde yapılan analizler yüksek demir ve Mangan değerleri göstermektedir. Ayrıca su alma yapısının özellikleri nedeniyle arıtma tesisine değişik kalitede su iletme durumu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle Gökçe Barajından su çekiminde mevsimsel değişiklikler itibariyle ham suyun oksijen miktarındaki azalmaları karşılamak ham sudaki demirin ve Manganın oksitlenmesini sağlamak, mevcut olduğunda koku ve tat problemini oluşturan maddeleri gidermek, su alma yapısı kapak işletmesinde olabilecek hatalara karşı arıtma tesisi işletmesinde belirli bir dengeyi sağlamak ve organik madde miktarını arzu edilen değerlere indirmek amacıyla kas kat tipi havalandırma uygulanmıştır. İstenildiği anda bay-pass geçilebilecek şekilde projelendirilmiş olan havalandırma yapısına bitişik bir yapı teşkil edilmiş olup burada akım ayar ve izolasyon vanaları yerleştirilmiştir.

Toplam 54,00 m² 'lik bir alanda betonarme olarak inşa edilmiş olan 4 katlı kas kat tipi havalandırma yapısında projelendirme kriteri olarak ham suyun oksijen muhteviyatının 0' dan 7 mg/l'ye çıkarılması esas alınmıştır. 40 cm'lik düşüler bulunan havalandırma arıtma birimleri içinde hidrolik kaybı fazla olan birimlerden biri olmaktadır. Havalandırma yapısı giriş üst su kodu 92,80 m çıkış üst su kodu ise 90,65 m olup çıkış haznesinde su yüksekliği 2 m'dir. Havalandırma yapısı boyu 12 m eni ise 4,5 m'dir.



Şekil 3.6: Giriş ve havalandırma yapısı

3.4 Kimyasal Maddeler Binası

İçme suyu arıtma sistemlerinde, ham su içerisinde bulanıklık yaratan maddeleri yumaklaştırarak çökelme hızlarını artırmak mikroorganizmaların tahribini sağlamak ve suda kimyasal reaksiyonlar ve tüketim için uygun PH değerleri oluşturmak amacıyla kimyasal maddelerin suya ilavesi yoluna gidilmektedir.



Şekil 3.7: Kimyasal maddeler binası

Mevcut ham su analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda bulanıklık değerlerinde gözlenen yükseklik, suyun filtrelenmeden önce kimyasal koagülasyon işlemine tabii tutulmasını zorunlu kılmıştır. Pıhtılaşmayı sağlamak amacıyla ham su PH' ında (7,5-8,0) istenilen verimi veren alüminyum sülfat ile koagülasyon yapılmaktadır. Koagülasyon işleminin etkili olması dolayısıyla sistemde tam randıman sağlamak üzere koagülant madde yardımcısı polielektrolitler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra tesise gelecek olan suyun PH'ının koagülasyon için optimum düzeyde bulundurulması gerekliliği suya kireç (PH yükseltici) veya sülfürik asit (PH düşürücü) ilavesi yapılmaktadır. Diğer taraftan durultma işleminden önce belirli ölçüde ham su kalitesinde düzeltme yapmak ve suda bulunabilecek demir, Mangan iyonları, Amonyak ve inorganik maddeyi izole etmek, amacıyla havalandırma işlemin takiben suya klor katılmaktadır. Anılan bu kimyasal maddeleri ham su ile etkin bir biçimde karışması M1 ve M2 karıştırıcı olarak adlandırılan birimlerde gerçekleştirilmektedir.

Sistemde kullanılacak olan kimyasal maddelerin (alüminyum sülfat, polielektrolit, sülfürik asit, kireç ve klor) tabii tutulacağı işlemler ve depolama özellikleri dikkate alınarak kimyasal maddeler binası altında ayrı bir yapı içerisinde bu maddelerin depolama alanları bulunmaktadır. Boru donatımından tasarruf sağlama ve işletmeyi aynı

yapı içinde gerçekleştirmek amacıyla M1 ve M2 karıştırma birimleriyle klor tüpü depolama ve cihaz odaları kimyasal maddeler binası içerisinde düşünülmüştür.



Şekil 3.8: Kimyasal maddelerin depolanma yeri

Kimyasal maddeler binası, kimyasal madde depolama alanlarının kimyasal madde doyurucu ve eriyik hazırlama tanklarını klor cihaz ve kontrol odalarını, çalışma odalarını, M1 ve M2 karıştırıcılarını içerecek şekilde yaklaşık 805 m²’ lik bir alanda bodrum, zemin ve asma kat olmak üzere 2 katlı binadır. M1 karıştırma birimine klor, alüminyum sülfat, kireç (gerektiğinde) ve sülfürik asit (gerektiğinde) M2 karıştırma birimine ise polielektrolit (gerektiğinde) dozlanacaktır. M2 karıştırıcısı olarak ayrı bir yapı düzenlenmesinin nedeni; havalandırma işleminden sonra M1 karıştırıcısında suya ilave edilen alüminyum sülfat ile suda katı maddeler arasındaki reaksiyonların tamamlanabilmesi için gerekli yumuşamanın sağlanabilmesi açısından polielektrolit dozlamasından önce 2-4 dk’lık bir sürenin geçmesi zorunluluğudur.

Kimyasal maddeler binası bodrum katında kimyasal madde eriyik hazırlama tankları, dozlama pompaları ile M1 ve M2 karıştırıcısı, zemin katında klor varilleri depolama, kontrol ve cihaz odası, personel çalışma odaları, alüminyum, sülfat, kireç ve polielektrolit depolama alanları sülfürik asit tankları karıştırıcı motorları ile tuvalet ve duş odaları asma katta alüminyum sülfat, kireç ve polielektrolit doyurucu tankları bulunmaktadır.

3.4.1 Kimyasal maddelerin depolanması

M1 ve M2 karıştırıcılarına dozlanacak olan kimyasal maddeler tahmini dozaj kullanımlarına ve depolama sürelerine göre depolanmaktadır. Bu maddelerin mahallen temin imkanı piyasa araştırması yapılarak incelenmiş buna göre depolama alanları tespit edilmiştir. Aşağıda kimyasal maddeler için depolama özellikleri sıralanmıştır.



Şekil 3.9: Klor dozlama ünitesi

-Klorlama da kullanılacak olan klor genellikle 1 tonluk boş klor tüplerinin klor gazı doldurma fabrikalarında doldurulması ile sağlanmaktadır. Standart ölçülere uygun (L=2020-2050 mm, D=760-770 mm) 1 tonluk klor varillerini İstanbul'dan temin imkanı mevcuttur. Doldurma işlemi ise Yalova' ya en yakın yer olarak İzmit-Derince klor alkali fabrikasında gerçekleştirilebilir. Klorlamada depolama süresi 1 ay kabul edilmiştir. Gerekli olan dozaja göre (maksimum, 5 mg/l ön klorlamada; maksimum 2,2 mg/l son klorlamada) 15 adet klor tüpü 120 m²'lik bir alanda depolanmaktadır. Teşkil edilen bu odada kantar, klor tüpü, kaçak kontrol havuzu ve kren vinci bulunmaktadır. Depolama odasına bitişik olarak, klorinatörlerin (4A+1Y. Q = 6 kg Cl₂/h/Ad) bulunduğu klor cihaz odası (25 m²) ve kontrol odası 15 m² teşkil edilmiştir.

-Alüminyum sülfat, %17 Al₂O₃ ticari saflıkta ve 1,3 ton/m³ birim ağırlıkta toz ve blok halinde Seydişehir alüminyum fabrikasından (Etibank) temin edilebilir. Depolama

süresinin 3 ay ve depolamaya esas alınan dozajın 25 mg/l olarak kabul edildiği alüminyum sülfat 2 sıra torbalar halinde yaklaşık 120 m²'lik bir alanda depolanmaktadır.



Şekil 3.10: Kimyasal depolama ve dozlama ünitesi

3 aylık bir depolama süresi ve 10 mg/l depolama dozajı kabul edilerek kimyasal maddeler binasında yaklaşık 80 m²'lik bir alan ayrılma olan kireç için yapılan piyasa araştırma sonucunda 0,40-0,80 ton/m³ (kompansiyona bağlı olarak değişken) birim ağırlıkta ve %65-%95 Ca(OH)₂ ticari saflıktaki kirecin Adapazarı'ndan temin edilebilir. Arıtma tesisinde kullanılacak olan kimyasal maddelerden poli elektrolit ithal durumu yaratan tek kimyasal madde olmaktadır. 45-50 kg'lık torbalar halinde ithal edilen poli elektrolit bu durumu nedeniyle 12 aylık bir depolama süresi ile ele alınmıştır. Depolama için 0,1 mg/l dozaj alındığında yaklaşık 40 m²'lik bir alan bulunmaktadır.

Ticari ismi vitriyol yağı, vitriyol olarak geçen sülfürik asit piyasada her miktarda ve ticari saflıkta temini mümkün bir kimyasal maddedir. %98 ve %93,2'lik sülfürik asidin özgül ağırlığı 1,82 ton/m³'tür. Çelik tanklarda depolanacak olan sülfürik asit için depolama süresi 1 ay ve depolama dozajı 15,00 mg/l alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 2 adet 2,20 m çapında 4,5 m uzunluğunda tank zemin katında bulunmaktadır. Tekrar doldurulacağı zaman arıtma tesisine gelen tankerlerden dolum yapılmaktadır.

3.4.2 Kimyasal madde besleme tankları

Alüminyum sülfat, kireç ve polielektrolit servis tanklarına transfer edilmeden önce kapalı tanklara alınıp depolanmaktadır. Kimyasal maddeler toz halinde, çelik olan tank üzerlerinde düzenlenen kapaktan içeri iletilmektedir. Bu tanklardan, bodrum katında düzenlenen dozlama tanklarına, kimyasal maddeler tank tabanındaki vibratör ve borular ile transfer edilmektedir. Tesiste kuru besleme yapılması ön görüldüğünde kimyasal maddenin tozlaşmaması için geniş boru dağıtımı ön görülmüştür. Boru kontrolü zemin katta yapılmaktadır. Kimyasal besleme tankları günlük işletmeye göre boyutlandırılmış olup alüminyum sülfat için 4 m³, polielektrolit için 1 m³ ve kireç için 4 m³'lük hacme göre tesis edilmiştir.

3.4.3 Kimyasal madde eriyik tankları ve M1-M2 karıştırıcısı

Bodrum katında teşkil edilmiş olan kimyasal madde eriyik tankları maksimum dozlamaya göre boyutlandırılmış olup bu dozaja göre dozlama pompaları ve mekanik karıştırıcılar ile donatılmıştır.

Alüminyum sülfat için %30'luk maksimum çözelti kuvvetinde (0,3 kg/l) 3 adet 12 saat kapasiteli dozlama tankı tesis edilmiştir. ($V=9,20 \text{ m}^3/\text{Ad}$) her tank çıkışına 800 lt/h kapasitede dozlama pompaları bulunmaktadır. Kireç için 12 saat kapasitede 3 adet servis tankı projelendirilmiş olup 1300 l/h'lik pompalar bulunmaktadır. Her tankta %10 (0,1 kg/l) sulu kireç konsantrasyonu sağlanmaktadır. Poli elektrolit için %0,2 (0,002 kg/l)'lik maksimum çözelti konsantrasyonu esasına göre 3 adet 12 saat kapasiteli tank ($V=7,04 \text{ m}^3/\text{Ad}$) bulunmaktadır. Poli elektrolit dozlama pompası kapasitesi ise 600 l/h'tir.

Kimyasal madde eriyik tankları drenajı bodrum katında düzenlenen drenaj kanalı vasıtasıyla bina yanına düzenlenen rögara iletilmektedir. Bu amaçla her tanka elle çalışan vana donatımlı dip savak borusu yerleştirilmiş olup tank tabanına harç ile dip savak çıkışına doğru meyil verilmiştir.

Dozlama tankları karıştırıcıları uygun G değerlerine göre tesis edilmiştir. Şöyle ki alüminyum sülfat dozlama tankı karıştırıcısı 4 kW, kireç dozlama tankı karıştırıcısı 5,5

kW ve polielektrolit dozlama tankı karıştırıcısı 2,2 kW olarak elde edilmiştir. Tüm dozlama tankları karıştırıcı motorları zemin katta bulunmaktadır.

36,75 m³ hacmindeki M1 ve M2 karıştırıcısı yine bodrum katında tesis edilmiştir. 2 birimde de kullanılacak olan beheri 15 kW gücündeki karıştırıcı motorları tank üstündeki düzenlenen beton tabliyeğe yerleştirilmiştir. M1 ve M2 karıştırıcılarından sonra kuagüle edilmiş (suyun içerisindeki küçük partiküllerin birleşerek büyük partikül haline gelmesi işlemi) su, yavaş karıştırma birimlerine iletilecektir. M1 ve M2 birimlerinin boyutları aynı olup L=W=3,5 m ve H=3,0 m'dir.

3.5 Flakülasyon Havuzları

Yumaklaştırıcı kimyasal maddelerin suya hızlı karıştırma ile ilave edilmesi sonucu suda başlayan fiziko-kimyasal aktiviteler flakülasyon havuzlarında suyun yavaş karıştırılması, ince pıhtıların birleştirilerek çökeltilmesi daha kolay olan iri yumaklar haline getirilmesi şeklinde devam ettirilmektedir. Bu amaçla her durultucu girişinde 1'er adet olmak üzere beherin 500 m³ hacminde toplam 4 adet flakülasyon havuzu bulunmaktadır. Her flakülasyon havuzu dört gözden teşkil edilmiştir. Seçilen boyutlara göre bir flakülasyon havuzunda suyun kalış süresi 28 dk olarak elde edilmiştir ki bu değer kabul edilen limitler dahilinde kalmaktadır.

Flakülasyon havuzlarında suyun karıştırılması ve çökelmeye uygun pıhtıların meydana gelmesi tamamıyla havuzdaki hız eğimi değerleriyle (küçük partiküllerin bir araya gelerek oluşan yumaklaşmanın bozulmaması için karışımın yavaş hızda olması) orantılıdır. Yumaklar irileştikçe dağılıp ufalanmamaları için karıştırma işlemlerinin oldukça ağır olması gerekmektedir. Bu nedenle her flakülasyon havuzu dört gözden meydana getirilmiş, havuz girişinden çıkışına itibaren G değeri pedal hızları ayarlanarak küçültülmüştür. Havuz gözlemindeki su geçişleri 1,00 m x 1,00 m boyutlarındaki delikler vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Üstü açık ve betonarme olarak inşa edilecek olan flakülasyon havuzlarının üzerine (bir havuzdan iki adet olmak üzere) 1,50 m eninde yürüme ve karıştırıcı motorları için platform düzenlenmiş olup bu platform durultucu yapısı üzerindeki kontrol odasına bağlanmıştır. Flakülasyon havuzu birinci gözünde 1,75 kW'lık ikinci gözünde 0,55 kW'lık üçüncü gözünde 0,25 kW'lık ve

dördüncü gözünde 0,09 kW'lık mekanik karıştırıcılar bulunmakta olup havuzda beher göz boyutları 5 m x 5 m x 5 m'dir.

3.6 Durultma Ünitesi

Önceki arıtma birimlerinde kimyasal kuagülasyon ve flakülasyon ile çökebilir hale getirilmiş olan maddelerin sudan uzaklaştırılması durultucu birimlerinde gerçekleştirilmektedir. Durultucu tipleri (yatay akımlı, dikine yukarı akımlı, konvansiyonel hızlı vb.) birbirine göre avantaj ve dezavantajları teoride dengede kalmakla birlikte, pratikte maliyet, işletme ve bakım farklılıkları göstermektedir. Bu tesiste maliyet, işletme ve bakım kolaylığı gösteren yatay akımlı ve çok katlı olan durultucu tipi bulunmaktadır. Bu tip havuzlarda alan gereksinimi durultucu yüzey alanının kat adedi kadar azaltılması söz konusudur. Bunun yanı sıra geometrilerinin uygun olması nedeniyle flakülasyon havuzlarıyla bitişik imal edilmiştir. Dört adet düzenlenen durultucularda biriken çamur katlara verilen eğim vasıtasıyla tabanda düzenlenen çamur toplama haznesine alınacak buradan çamur koyulaştırma havuzuna iletilmektedir.



Şekil 3.11: Durultma üniteleri

Durultucu birimi, giriş, çöktürme ve çıkış zonu olmak üzere 3 bölümde incelenmiştir. Flakülasyon havuzundan alınan su durultucu içinde düzenlenen 1,55 m derinliğinde, 0,50 m genişliğindeki dağıtım kanalına iletilmektedir. Kanal içindeki deliklerden giriş zonuna akan su, çökelme şartları için uygun Reynolds ve Froide sayısı değerlerine

ulaşmak, türbülansı önlemek ve su hızını azaltmak için düzenlenen delikli bir perde yapısından çökelme zonuna ulaşmaktadır. Daha önce de değinildiği gibi keltim katlarına verilen eğim ile kayan çamur her katı perdeye bağlayan yerde teşkil edilen çamur haznelerine alınmaktadır. Durultucu zerindeki yapı içerisinde kontrolü yapılan kapak mekanizması ile durultucu tabanındaki haznede toplanmaktadır.

Beher durultucuda savak yükünün $6 \text{ m}^3/\text{h-m}$ alındığı çıkış zonu, her katı için çift tarafı savaklı üç adet kanaldan oluşmaktadır. Bu kanallarda toplanan sudan iki durultucunun suyunu alabilecek şekilde boyutlandırılmış ara toplama kanalına ($1,00 \text{ m} \times 1,40 \text{ m}$) alınmaktadır. Buradan dört durultucunun suyunun toplandığı ana toplama kanalına ($1,50 \text{ m} \times 2,00 \text{ m}$) iletilmektedir.

Betonarme olarak inşa edilmiş durultucularda ana çıkış kanalı su kotu $84,96 \text{ m}$, durultucu ara toplamı kanalı su kotu $90,02 \text{ m}$, durultucu savak kanalı su kotu $90,08 \text{ m}$ ve durultucu birimi su kotu $90,22 \text{ m}$ 'dir.

Son durultucu yapısı ana toplama kanalı üzerinde M1 ve M2 yapıları özelliklerine sahip MY karıştırıcı nitesi düzenlenmiş olup bu birim tesiste ek karıştırma birimi görevini üstlenmektedir. Yapı boyutlar $3,5 \text{ m}$ ve $3,0 \text{ m}$ 'dir. Karıştırıcı gücü 15 kW olarak elde edilmiştir.

3.7 Filtre Binası

Durultucularda tutulamayan sudaki asılı ve kolloidal haldeki katıların sudan uzaklaştırılması ve nispeten daha iyi kalitede su üretilmesi amacıyla hızlı akımlı kum filtreleri kullanılmaktadır.

Filtreye M3 karıştırma birimi, klorlama havuzu, temiz su deposu arıtma birimleri ile laboratuvarlar, kafeterya ve idare bölümlerini kapsayacak şekilde komple bir ünite tesis edilmiştir. Üç katlı düzenlenen yapının en alt katında temiz su deposu ve klor temas havuzu, orta katında filtreler ve M3 karıştırma birimi, üst katında ise idare birimleri bulunmaktadır (şekil 3.12).



Şekil 3.12: Filtre binası ve filtre üniteleri

Filtre binasında bulunan üniteler aşağıda verildiği gibidir.

3.7.1 Filtreler

Çökelme ünitesinden geçirilmiş, nispeten durulmuş su, kum ve çakıl ortamlarından oluşturulmuş hızlı akımlı filtrelere iletilmektedir.

Filtre yüklemesi literatürde verilen limitler ve pratikte uygulamalar dikkate alınarak $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ olarak kabul edilmiş, beheri 9 m x 6 m boyutlarında toplam 16 adet hızlı akımlı filtre düzenlenmiştir.

Filtre ortamı 2 kademeli teşkil edilmektedir. Üstteki kum yatak kalınlığı 80 cm ($0,35 \text{ mm} < d_{10} < 0,80 \text{ mm}$ ve $1,30 \text{ mm} < C_u = d_{60}/d_{10} < 1,70 \text{ mm}$), çakıl yatak kalınlığı 0,50 m'dir. Çakıl yatak ortamı 5 tabakadan düzenlenmiş olup tabaka kalınlıkları ve dane çapları aşağıda sıralanmıştır.

$d_1 = 1/8''$	$L_{\text{ç}1} = 0,15 \text{ m}$
$d_2 = 1/4''$	$L_{\text{ç}2} = 0,09 \text{ m}$
$d_3 = 1/2''$	$L_{\text{ç}3} = 0,09 \text{ m}$
$d_4 = 1''$	$L_{\text{ç}4} = 0,09 \text{ m}$
$d_5 = 2''$	$L_{\text{ç}5} = 0,08 \text{ m}$

Durultucularda ana kanalda toplanan sular kapalı (basınçlı, 2,00 x 1,60) kanal ile filtrelerle iletilmektedir. Filtre yapısının iki yanında 1,00 m x 1,60 m boyutlarında kapalı kanal teşkil edilmiş olup, su buradan açık kanala verilmektedir. Filtrelere su girişi ayarlanabilir kapaklar ile sağlanmaktadır. Bu kapaklar aynı zamanda izolasyon görevi yapmaktadır. Kapak mekanizması yine önce su 0,50 m genişliğinde ve 2,50 m derinliğindeki dağıtım kanalına alınmaktadır. Buradan filtrelerle verilmektedir. Bu kanal aynı zamanda geri yıkama suyunu, geri yıkama suyu toplama kanalına iletme görevini de üstlenecek şekilde kapak sistemi ile çalıştırılmaktadır. Dağıtım kanalındaki su seviyesi 89,91 m filtrelerdeki su seviyesi ile 89,90 m'dir.

Filtre geri yıkamasının basınçlı hava ve basınçlı su kullanımı ile sağlanmaktadır. Yıkama işlemi için hava körüğü ve geri yıkama suyu pompaları kullanılmakta olup, temiz su M3 karıştırma biriminden alınmaktadır. Geri yıkama suyunun filtrelerle iletilmesi için her filtre tabanı, mekanizmalı düzenlenmiş olup bu amaçla 1,50 m x 1,50 m x 0,20 m ölçülerinde delikli ($d=2,0$ cm) beton plakalar hesap edilerek monte edilmiş memeler basınçlı suyu mekanizma üzerinden filtre ortamına transfer etmektedir. Bu basınçlı suyun iletimi için 3626 adet meme bulunmaktadır.

Geri yıkama işlemi sırasında kum yatakta %30'luk bir kabarma kabul edilerek kabarmış kum seviyesinin 0,15 m üzerinde 0,70 m derinliğinde ve 0,60 m genişliğinde geri yıkama oluğu düzenlenmiştir.

Filtrelerin geri yıkama işlemi sırasında yaklaşık 4 dakika süren hava-su fazı ile 4,5 dakika süren su fazı uygulanmaktadır. Geri yıkama suyu pompaları ve hava körükleri filtre binası bodrum katına yerleştirilmiştir. Geri yıkama pompaları M3 karıştırıcısı ile klor temas havuzları arasındaki geçiş bölümünden $\phi 1000$ mm boru ile emiş yapmaktadır.

Geri yıkama pompaları 2 asil + 1 yedek olarak seçilmiş olup pompa kapasiteleri 2 filtrenin aynı anda yıkanması esasına göre belirlenmiştir. Dolayısı ile bir filtre bir pompa ile yıkanmaktadır. Yıkama suyu ana borusu ise üç filtrenin aynı anda yıkama sırasına göre $\phi 900$ mm olarak boyutlandırılmıştır. Beher filtreye giren yıkama suyu borusu çapı ise $\phi 500$ mm'dir. Geri yıkama suyu hızı $25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ olarak seçilmiş olup, buna göre bir filtrenin yıkama suyu debisi $0,375 \text{ m}^3/\text{s}$ ve yıkama suyu ana boru debisi

1,125 m³/s olarak elde edilmiştir. Basma yüksekliği 10 m olan geri yıkama suyu pompaları 55 kW'lık seçilmiştir.

Hava kompresörlerinin seçiminde 60 m³/h/m²'lik bir hava hızı esas alınmıştır. Bu nedenle beher filtre için hava debisi 0,9 m³/s olarak elde edilmiştir. Hava ana borusu ise acil durumlarda 3 filtrenin aynı anda yıkandığı esasına göre ϕ 400 mm'dir. Arıtma tesisinde iki filtrenin aynı anda yıkanabileceği düşünülerek 2 adet hava kompresörü (Q=1630 l/dk, P=15 atm, N=15 kW) tesis edilmiştir. Dolayısı ile normal işletmede 1 kompresör tesiste bulunan 16 filtrenin 8'ine hizmet etmektedir. Kompresörün basacağı hava P=15 atü kazanda biriktirmektedir. Seçilen kazan hacmi 16,50 m³'tür. Beher filtreye giren hava borusu çapı ϕ 250 mm'dir.

Geri yıkamada kullanılan su geri yıkama olduğundan, kanala (1,65 m x 1,20 m) alındıktan sonra ϕ 800 mm'lik boru ile geri yıkama suyu tutma havuzuna iletilmektedir.

Filtrelenen su ise geri yıkama suyu borularının (ϕ 500 mm) geri yıkama vanalarının kapatılıp filtrelenmiş su vanalarının açılması ile 1,50 m x 1,60 m boyutlarındaki filtrelenmiş su kanalına alınmaktadır. Buradan M3 karıştırıcısına, bu birimdeki 125 cm x 125 cm boyutlarındaki delik vasıtasıyla iletilmektedir. Arıtma tesisinde suyun durultuculardan geçtikten sonra direkt olarak M3'e transferi söz konusu olduğundan dağıtım kanalı sonunda düzenlenen delikler aracılığıyla su filtrelenmiş su kanalına verilebilmektedir.

3.7.2 M3 Karıştırıcısı

Alüminyum sülfat ile yapılan koagülasyon işleminden sonra suda oluşan fiziko-kimyasal aktiviteler, filtrelenmiş suda bazı durumlarda PH değerinin düşmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle filtre yapısı içine alınan M3 karıştırma biriminde arıtılmış su PH' nin gerektiğinde kireç ile yükseltilmesi gerekmektedir. Kimya binası bünyesinde kireç depolama ve eriyik hazırlama tankları için yer ayrıldığından M3 karıştırıcısına kireç dozlanması için sadece bu binadan branşman ayrılmıştır.

15 kW gücünde mekanik karıştırıcısı ile donatımlı M3 karıştırıcısı aynı zamanda son klorlama için klor tatbik noktası olarak ta kullanılmaktadır. Bu amaçla Kimya binası

iine son klorlama için 1,5 mg/l dozlama ve 30 günlük depolama süresine göre toplam 5 adet 1 tonluk klor varilleri bulunmaktadır. Bu son klorlama işlemi için 3 adet (2 asil + 1 yedek) 6,0 kgCl₂/h kapasitede klorinatr tesis edilmiştir.

Filtre Binası zemin katında düzenlenen M3 karıştırıcısı (3,00 m x 3,40 m x 3,95 m) suyu klor temas havuzuna 100 cm x 100 cm boyutlarındaki delik aracılığıyla iletilmektedir.

3.7.3 Temiz su deposu

Tüketimde saatlik ve maksimum su ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla arıtılmış su filtre binası bodrum katında klorlama havuzuna bitişik olarak düzenlenen 55,20 m x 24,10 m boyutlarındaki su deposunda depolanmaktadır. Temiz su deposu iki gözlü teşkil edilmiş olup 5,00 m'lik su yüksekliğine sahiptir. İsaleye su iletilmesini kontrol etmek üzere iki gözden çıkan $\phi 800$ mm'lik boruları, tahliye ($\phi 400$ mm) ve dip savak boruları ($\phi 400$ mm) ile $\phi 1200$ mm'lik ana boruyu içerecek şekilde 4,50 m genişliğinde ve 10 m uzunluğunda manevra odası teşkil edilmiştir. Deponun havalandırması ise $\phi 150$ mm çapındaki havalandırma bacalarından sağlanmaktadır.

3.8 Hesaplamalar

3.8.1 Ham su pompa istasyonu

Gökçe Barajından alınacak olan ham su D.S.İ. tarafından yaptırılan kademeli su alma yapısı ile Pompa İstasyonuna iletilecektir. Barajda normal su seviyesi kotu 79,50 m olup su alma yapısındaki giriş kapakları kotları aşağıda verilmiştir.

1. Kademe 71,50 m
2. Kademe 64,50 m
3. Kademe 58,75 m
4. Kademe 53,00 m
5. Kademe 49,00 m
6. Kademe 46,00 m

D.S.İ. tarafından hazırlanan projelere göre pompa istasyonu 38,00 m kodunda tesviye edilmiş, baraj önündeki alana yerleştirilmiştir.

Baraj hidrolik hesaplarından edinilen verilere göre su alma yapısı ile pompa istasyonu arasındaki kayıp denklemi;

$$\Delta H = 0,20 \times Q^2 \quad (3.1)$$

ΔH : Sistemin basma yüksekliği (m)

Q : Birim zamanda borudan geçen sıvının hacmi (m^3/h),

3.8.2 Terfi çapı hesabı

Terfi edilecek debi 1200 l/s olup suyun paralel döşenecek iki hatla terfisi ve arıza durumunda 600 l/s su çekilebilmesi hesaplara esas alınmıştır.

$$Q_{\text{Terfi}} = 600 \text{ l/s}$$

$$\text{Arıtma Tesisi Su Giriş Kotu} = 96,00 \text{ m}$$

$$\text{Terfi Hattı Uzunluğu} = 1000 \text{ m}$$

Kayıplar:

Su Alma Yapısı-Pompa İstasyonu Arası:

$$\Delta H_1 = 0,20 \times (1,2)^2 = 0,29 \text{ m}$$

D.S.İ.' ne ait barajın su alma yapısından alınan 1,2 m^3/s kapasitede ham suyun 38 m kodunda bulunan ana pompa istasyonuna ulaşması sırasında yaşanan kayıp hesabı formülünden hesaplanarak bulunmaktadır.

Pompa İstasyonu- Arıtma Tesisi Arası:

$$Q = 0,60 \text{ m}^3/h$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

Pompa Çıkış Borusu Kotu = 38,60 m

D = 800mm Spiral Kaynaklı Çelik Boru Kabulü ile J = 0,001786

$$\Delta H_2 = 0,001786 \times 1000 = 1,786 \text{ m}$$

D = 900 mm Spiral Kaynaklı Çelik Boru Kabulü ile J = 0,001006

$$\Delta H_2 = 0,001006 \times 1000 = 1,006 \text{ m}$$

D = 1000 mm Spiral Kaynaklı Çelik Boru Kabulü ile J = 0,000602

$$\Delta H_2 = 0,000602 \times 1000 = 0,602 \text{ m}$$

Karşılaştırılacak Çaplar $\Phi 800$, $\Phi 900$, $\Phi 1000$ mm Spiral Kaynaklı Çelik Boru

$$H_m = 96,00 - 38,60 + 0,29 + 1,786 + 3,00 = 63 \text{ m}$$

Tablo 1 den $Q_t = 600 \text{ l/s}$ için; $\eta_p = 0,78$

$$N_m = (600 \times 63 / 102 \times 0,78) \times 1,10 = 523 \text{ kW}$$

Tablo 2 den $N_m 523 \text{ kW}$ için; $\eta_m = 0,93$

Tablo 3 den $K = 29,98$

Akışkanın Boru Çaplarına Göre Hızları:

Dairesel kesitli borudan akan akışkanın hacimsel akış hızı (hacimsel debi);

$$Q = v \cdot A \quad (3.2)$$

Q : Hacimsel debi (m^3/s)

v : Akışkanın boru içindeki çizgisel hızını (m/s)

A : Akışın gerçekleştiği borunun kesit alanı (m^2)

Boru içerisinden akan akışkanın hızı;

$$v = 4 \cdot Q / \pi \cdot D^2 \quad (3.3)$$

v : Akışkanın ortalama hızını (m/s)

D : Borunun çapı (m)

800 lük boru için;

$$v = 4 \cdot 0,6 / 3,14 \cdot (0,8)^2 = 1,20 \text{ m/s}$$

900 lük boru için;

$$v = 4 \cdot 0,6 / 3,14 \cdot (0,9)^2 = 0,94 \text{ m/s}$$

1000 lik boru için;

$$v = 4 \cdot 0,6 / 3,14 \cdot (1,0)^2 = 0,76 \text{ m/s}$$

Φ 900 ve Φ1000 mm'lik borular arasındaki yük kaybı farkı sadece 40 cm olmaktadır. Hızların incelenmesinde ise Φ900 mm'lik borudaki 0,94 m/s'lik hızın terfi hatları için uygun bir değer olduğu görülmektedir.

Bu düşüncelerin ışığı altında terfi hattın 2 adet Φ900 mm (e = 7,1 mm) spiral kaynaklı çelik boru ile imal edilmesi uygun görülmüştür.

3.8.3 Pompa hesapları

$$\Delta H_1 = 0,29 \text{ m}$$

$$\Delta H_2 = 2,00 \text{ m}$$

$$H = 2,50 \text{ m (emniyetli tarafta kalmak için)}$$

Tablo 3.1: Ham suyun barajdaki su alma yapısından arıtma tesisine geçiş kotları.

Su Alma Kademesi	Arıtma Tesisi Giriş Kotu (m)	Su Emiş Kotu (m)	Giriş Emniyet Basıncı+Toplam H (m)	Gerekli Pompa Basma Yüksekliği (m)	ΔH (m)
1	96	71,5	5,5	30	
2	96	64,5	5,5	37	7
3	96	58,75	5,5	42,75	5,75
4	96	53	5,5	48,5	5,75
5	96	49	5,5	52,5	4
6	96	46	5,5	55,5	3

Yukarıdaki tabloya göre suyun en üst kapaktan (71,50) çekilmesi halinde pompanın basma yüksekliğinin 30 m olması ve daha aşağıdaki kademelerden su alınması halinde ise (debi sabit kalmak şartı ile) pompaların sırası ile 7,00-5,75-5,75-4,00-3,00 m daha yükseğe su basabilmeleri gerekmektedir. Bu durumda pompaların çalışma koşulları ve giriş basıncı göz önüne alınarak aşağıda karakteristikleri açıklanan pompaların kullanımı uygun bulunmuştur.

Tablo 3.2: Ham suyun ana pompa istasyonundan arıtma tesisine pompaj listesi.

Su Alma Kademesi	H_m (m)	Q (m^3/s)	ΣN_m (kW)	Pompa Sayısı (Asıl)	Q_p (m^3/s)	N_m (kW)	ΣN_m (kW)	Pompa Sayısı Toplam
1	30	1,2	498	2	0,6	250	500	3
2	37	1,2	614	2	0,6	315	630	3
3	46	1,2	764	3	0,4	315	945	4
4	54	1,2	896	3	0,4	315	945	4

Tablo 3.2' ye göre su alma yapısının 1. kademesinden (71,50 m kodu) alınan su $1,2 m^3/s$ kapasitede ana pompa istasyonuna ulaşmakta, $H_m = 30$ m basma yüksekliğine sahip 2 adet 250 kW 1000 d/dk pompa ile $1,2 m^3/s$ kapasitede su 96 m kodundaki arıtma tesisine pompaj yapılmaktadır.

2. kademesinden (64,50 m kodu) alınan su $1,2 m^3/s$ kapasitede ana pompa istasyonuna ulaşmakta, $H_m=37$ m basma yüksekliğine sahip 2 adet 315 kW 1000 d/dk pompa ile $1,2 m^3/s$ kapasitede su 96 m kodundaki arıtma tesisine pompaj yapılmaktadır.

3. kademesinden (58,75 m ve 53,00 m kodu) alınan su $1,2 m^3/s$ kapasitede ana pompa istasyonuna ulaşmakta, $H_m=46$ m basma yüksekliğine sahip 3 adet 315 kW 1500 d/dk pompa ile $1,2 m^3/s$ kapasitede su 96 m kodundaki arıtma tesisine pompaj yapılmaktadır.

4. kademesinden (49,00 m ve 46,00 m kodu) alınan su $1,2 m^3/s$ kapasitede ana pompa istasyonuna ulaşmakta, $H_m = 54$ m basma yüksekliğine sahip 3 adet 315 kW 1500 d/dk pompa ile $1,2 m^3/s$ kapasitede su 96 m kodundaki arıtma tesisine pompaj yapılmaktadır.

3.9 Asenkron Motorlarda Mekanik Arızalar

Endüstriyel süreçlerde kullanılan elektrik motorlarının elektriksel ve mekanik bileşenlerindeki arızaların erken tespiti, süreçlerin güvenilirliği ve maliyet verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, endüstriyel uygulamalarda kullanılan asenkron motorların arıza tespiti için pek çok öngörülü bakım odaklı durum izleme çalışması yapılmıştır. Yapılan incelemeler, motor arızalarının %50'den fazlasının rulman sorunları ve mil dengesizlikleri gibi mekanik etkenlerden kaynaklandığını ortaya koymaktadır [17].

3.9.1 Mekanik Arızalarda Rulmanların Önemi ve Yapısı

Rulmanlar, asenkron motorların mekanik yapısında önemli bir rol oynar. Rotor milinin stator gövdesi içinde düşük sürtünmeyle dönmesini sağlayarak titreşimi, gürültüyü ve enerji kayıplarını en aza indirirler. Bu sayede rotor, dengeli ve sorunsuz şekilde çalışabilir. Rulman arızaları, birden fazla faktörün birleşimiyle meydana gelir. Bu faktörler arasında yetersiz yağlama, kirlilik, aşırı veya dengesiz yük, yanlış hizalama, hatalı montaj, elektriksel akımlar ve malzeme yorgunluğu yer alır. Genellikle rulman arızaları dört ana kategori altında sınıflandırılır [18].

- **Bilye arızaları:** Bilye yüzeylerinde pitting, çukurlaşma veya çatlakların oluşması, rulmanın düzgün ve sorunsuz bir şekilde dönmesini engeller [18].

- **İç bilezik arızaları:** İç bilezik yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar, bilye ve yuva arasındaki teması bozarak rulmanın hareketini kısıtlar, titreşim ve gürültünün artmasına yol açar [18].

- **Dış bilezik arızaları:** Dış bilezik yüzeyindeki hasarlar, rulmanın stator gövdesiyle olan etkileşimini olumsuz etkiler ve milin denge koşullarını bozarak performansı düşürür [18].

- **Kafes arızaları:** Kafesin çatlaması ya da deforme olması, bilyelerin ideal konumunu korumasını önler, sürtünme oranını artırır ve rulmanın kullanım ömrünü kısaltır [18].

3.9.2 Asenkron Motorlarda Titreşim

Titreşim, bir makine veya motorun iç ya da dış kuvvetlere karşı sergilediği tepki hareketidir. Döner hareket gerçekleştiren ekipmanlarda problemler genellikle aşırı titreşim olarak kendini belli eder. Bu nedenle titreşim sinyalleri, motor veya makinenin çalışma performansını yansıtan önemli bir göstergedir. Elektriksel ya da mekaniksel her türlü sorun veya arıza, kendine özgü karakteristik bir titreşim oluşturur [19].

TSE 9555 Standardına göre mil yüksekliği 56 mm ve daha yüksek, nominal hızları dakikada 600 devir ile dakikada 3600 devir (dahil) arasında olan doğru akım ve 3 fazlı alternatif akım makinalarının titreşim değerleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir [20].

Tablo 3.3: Asenkron motorlarda titreşim oranları [20].

DERECE	NOMİNAL HIZ (d/d)	MİL EKSEN YÜKSEKLİĞİ (mm) $56 \leq H \leq 132$	MİL EKSEN YÜKSEKLİĞİ (mm) $132 < H \leq 225$	MİL EKSEN YÜKSEKLİĞİ (mm) $H > 225$
NORMAL	$600 \leq 1800$	1,8	1,8	2,8
	$> 1800 \leq 3600$	1,8	2,8	4,5
DÜŞÜK	$600 \leq 1800$	1,71	0,12	1,8
	$> 1800 \leq 3600$	1,12	1,8	2,8
ÖZEL	$600 \leq 1800$	0,45	0,71	1,12
	$> 1800 \leq 3600$	1,71	1,12	1,8

Tablodaki değerler mm/s cinsindendir.

3.9.3 Asenkron Motorlarda Gürültü

Elektrik motorlarının neden gürültülü çalıştığını üç temel kaynaktan inceleyebiliriz:

1. Manyetik kuvvetler: Stator paketindeki manyetik kuvvetler, radyal yönde titreşim oluşturarak gürültüye sebep olabilir [21].

2. Rulmanlar: Bilya ve makaraların geometrik yapı bozuklukları ya da aşınmaları, operasyon sırasında gürültü oluşturur [21].

3. Soğutma pervanesi: Soğutma fanının çalışması sırasında, havalandırma sesleri olarak adlandırılan bir gürültü ortaya çıkar [21].

Bu üç kaynaktan genellikle en belirgin olanı soğutma pervanesinin neden olduğu sestir. Büyük boyutlu motorlarda bu etki daha belirgin bir şekilde hissedilir. Ancak talep edildiğinde, motor gürültüsünü azaltmak için çeşitli özel önlemler alınabilir. Çevreye yayılan gürültü, ses geçirmez ve yankı yapmayan deney odalarında, DIN EN 21 680-1 standardına uygun şekilde ölçülmektedir. dB(A) biriminde belirtilen yüzey ses basıncı seviyesi (L_{pfA}), motor yüzeyinin 1 metre uzağında çeşitli noktalardan alınan ölçümlerin, ses ölçüm cihazındaki “A” skalasında elde edilen değerlerinin ortalaması alınarak belirlenir [21].

Tablo 3.4’te Asenkron motorların anma yükte çalışma sırasında ses gücü sınır seviyesi değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Asenkron motorlarda gürültü oranları.

Anma Gücü Çalışmada Ses Gücü Sınır Seviyesi LWA (dB)						
Çıkış Gücü, Pn kW	2 Kutup		4 Kutup		6 Kutup	
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
1,0<Pn≤2,2	80	87	75	76	77	78
2,2<Pn≤5,5	85	90	80	81	80	83
5,5<Pn≤11	90	93	83	86	84	87
11<Pn≤22	93	96	89	92	87	90
22<Pn≤37	95	102	92	95	90	93
37<Pn≤55	97	103	94	98	92	96
55<Pn≤110	101	108	101	104	100	104
110<Pn≤220	102	109	102	105	100	104
220<Pn≤400	103	109	102	105	98	101
400<Pn≤1000	107	112	107	110	102	105

3.10 AEMOT Marka Asenkron Motora Ait Titreşim ve Gürültü Ölçümleri

Bilezikli asenkron motorun yerine konulan AEMOT marka invertörlü asenkron motorun anma yükünde titreşim ve gürültü ölçümleri alınmıştır.

3.10.1 Titreşim Ölçümleri

İnvertörlü asenkron motorun anma yükünde titreşim ölçümlerinin Tablo 3.3'e göre normal değerlerin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13: İnvertörlü Motorun Titreşim Ölçümleri

3.10.2 Gürültü Ölçümleri

İnvertörlü asenkron motorun anma yükünde titreşim ölçümlerinin Tablo 3.4'e göre normal değerlerin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14: İnvertörlü Motorun Gürültü Ölçümleri

4. ANA POMPA İSTASYONUNDA YAPILAN İYİLEŞTİRMELER

Farklı kademelerde su alma yapısından ana pompa istasyonuna ulaşan ham su, bu alanda teşkil edilmiş ve sabit debilerde pompaj yapan pompalar aracılığıyla 1200 l/s kapasitedeki arıtma tesisine ulaştırılmaktadır. Ana pompa istasyonu ve arıtma tesisinin enerji beleme noktası aynıdır. Yılda 4,0-4,2 MW tüketim yapılan enerjinin %80' i ana pompa istasyonunda kullanılmaktadır.

1990 yılında kurulmuş olan bu sistemin baraj tam doluyken (barajın kodunun 79,50 m) 1. kademedeki pompalarla 800-850 l/s su pompaj yapılabilmekte, 2. kademedeki pompalarla 1000-1050 l/s su pompaj yapılabilir. Toplamda 1800-1900 l/s su pompajı yapılabilir. Elektrik motorlarının sabit güçte ve devirde olması sebebiyle 1200 l/s kapasitedeki arıtma tesisine yapılması gereken değer aşılmaktadır. Bu aşamada 1. veya 2. pompa gurubunun çıkış vanası kapatılarak debi değerinin 1200-1300 l/s seviyelerine gelmesi sağlanmaktadır. Böylece sabit güçte çalışmakta olan elektrik motorunun aynı değerde enerji harcamaya devam ettiği, vana kısma olayı yapılarak harcanan güce göre gitmesi gereken su miktarına ait kayıpların yaşandığı görülmektedir.

Baraj seviyesi düştükçe pompaların basma H_m oranları arttığı için 1. ve 2. kademedeki su debi oranları da azalmaktadır. Ancak arıtma tesisi için gerekli debi miktarlarının doğru kontrolü hiçbir şekilde sağlanamamaktadır. Dolayısıyla istenen debi oranının sağlanabilmesi için sabit bir oranda debi miktarı sağlayan bilezikli asenkron elektrik motorunun yerine sürücü ile yol verilen (frekans ayarının yapılarak elektrik motorunun hızının kontrol edilebildiği durum) sincap kafesli asenkron elektrik motorunun kullanımı kararlaştırılmıştır.

2. kademe 2 no'lu grupta bulunan Helmke marka 315 kW 1000 d/dk değerinde bilezikli asenkron elektrik motorunun yerine yapılan fizibilite çalışmaları neticesinde AEMOT marka 315 kW 1000 d/dk değerinde IE4 verimli asenkron elektrik motorunun montajı yapıldı. Yol verme kısmı da Danfos FC202 serisi sürücü ile sağlandı. İncelenen motorun vermiş olduğu debi değerlerini aynı kademe de faal halde bulunan bilezikli asenkron elektrik motoru ile karşılaştırması yapıldı.

4.1 Helmke Marka Bilezikli Asenkron Motora Ait Ölçümler

Gökçe Barajı su alma yapısından serbest bırakılan ham su 1200'lük spiral çelik borular vasıtasıyla ana pompa istasyonuna, oradan da motopomplar aracılığıyla 900'lük boru üzerinden basılarak arıtma tesisine ulaşmaktadır. Şekil 4.1'de bilezikli asenkron motora ait resimler görülmektedir.



Şekil 4.1: 315 kW bilezikli asenkron motor

Bilezikli asenkron motorun %100 devrede iken ölçümleri şekil 4.2' de verilmiştir. Bu ölçümler ana pompa istasyonunda yapılmıştır.



Şekil 4.2: 315 kW bilezikli asenkron motorun ölçümleri

Bilezikli asenkron motorun tam yükte çalışması sonucu harcadığı gücü şu şekilde hesaplayabiliriz. Motorun bağlı olduğu pompaya ait veriler;

Çıkış Basıncı: 4 bar

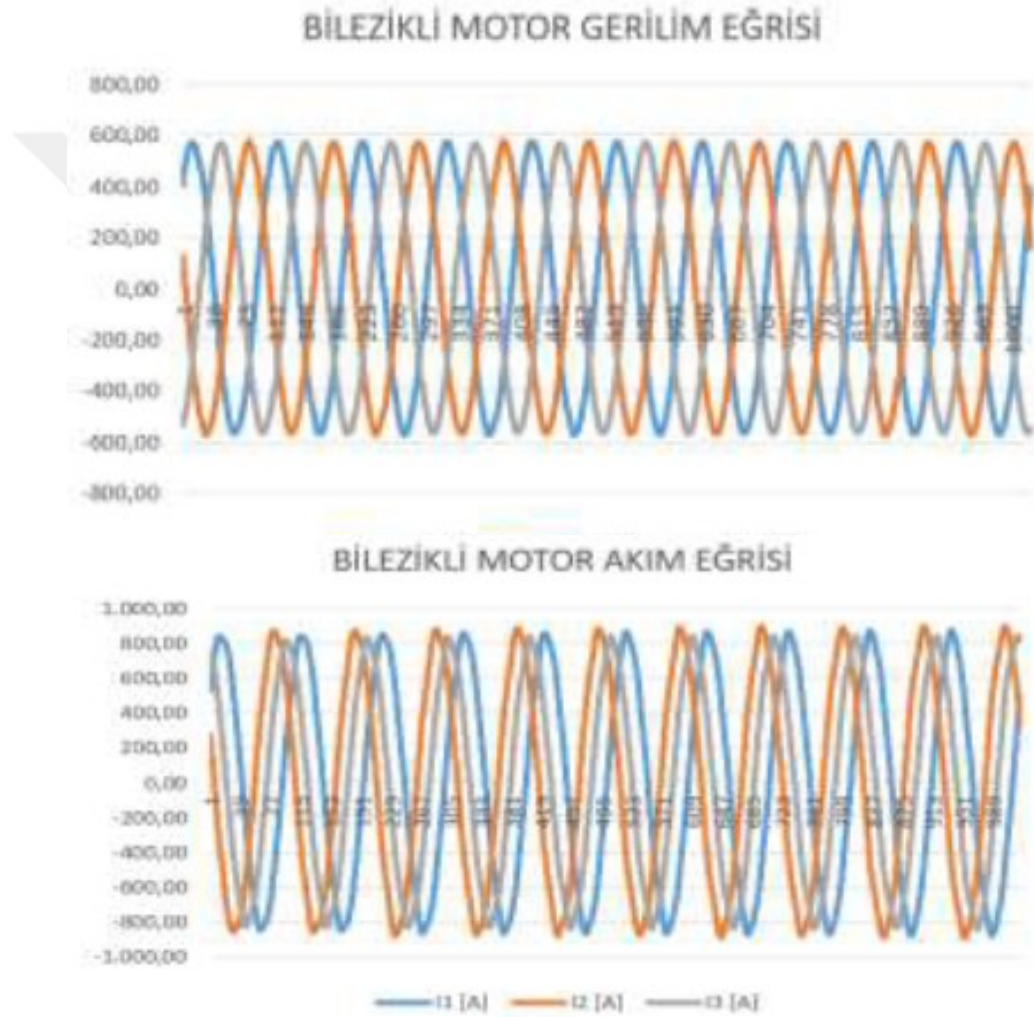
Debi: 896 l/s

Ortalama Faz-Faz Gerilimi: 398 V

Ortalama Faz Akımı: 600 A

Ortalama Giriş Gücü: 336,31 kW

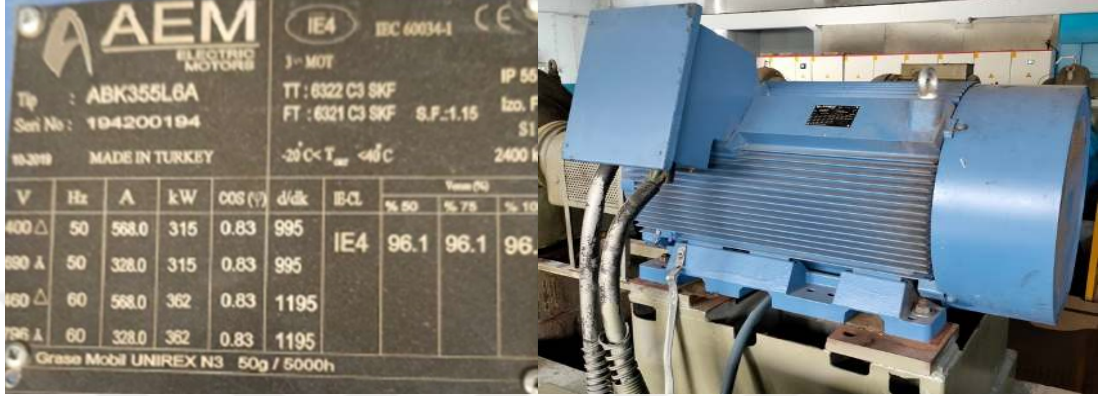
Çıkış Gücü: 315,06 kW



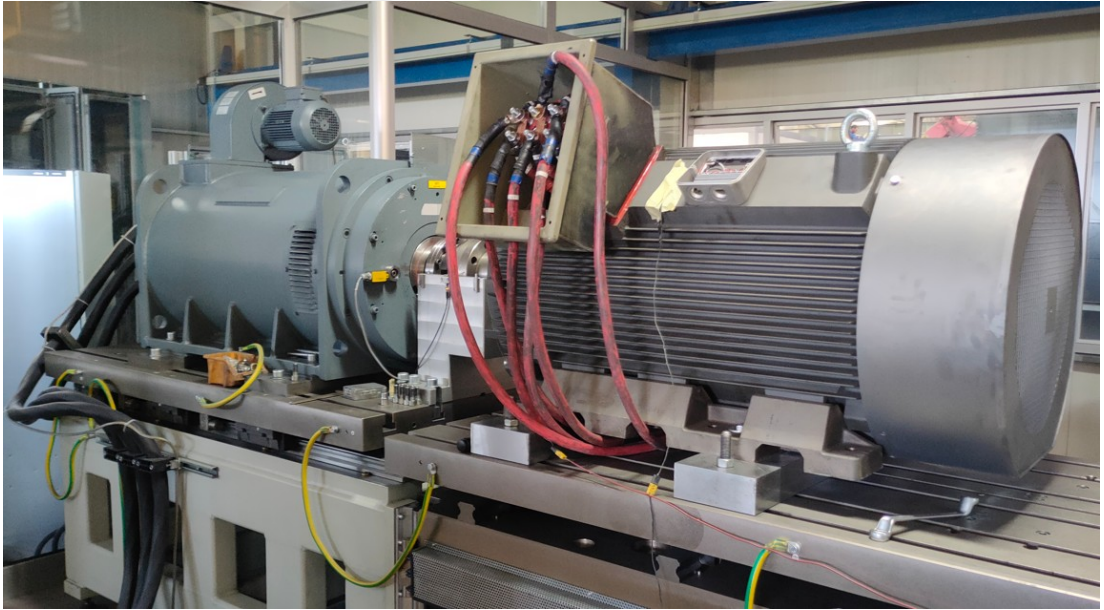
Şekil 4.3: Bilezikli asenkron motorun giriş gerilim-akım değerleri

4.2 AEMOT Marka İvertörlü Asenkron Motora Ait Ölçümler

Sincap kafesli IE4 verimli asenkron motorun %100, %75 ve %50 devrede iken ölçümleri şekil 4.4' de verilmiştir. Bu ölçümler motor kabulü esnasında fabrika ortamında yapılmıştır. Kullanılan değerler deney sonuçlarından alınmıştır.



Şekil 4.4: 315 kW IE4 verimli asenkron motor



Şekil 4.5: 315 kW IE4 verimli asenkron motorun ölçümleri

IE4 verimli sürücülü asenkron motorun tam yükte çalışması sonucu harcadığı gücü şu şekilde hesaplayabiliriz. Motorun bağlı olduğu pompaya ait veriler;

Çıkış Basıncı: 3,8 bar

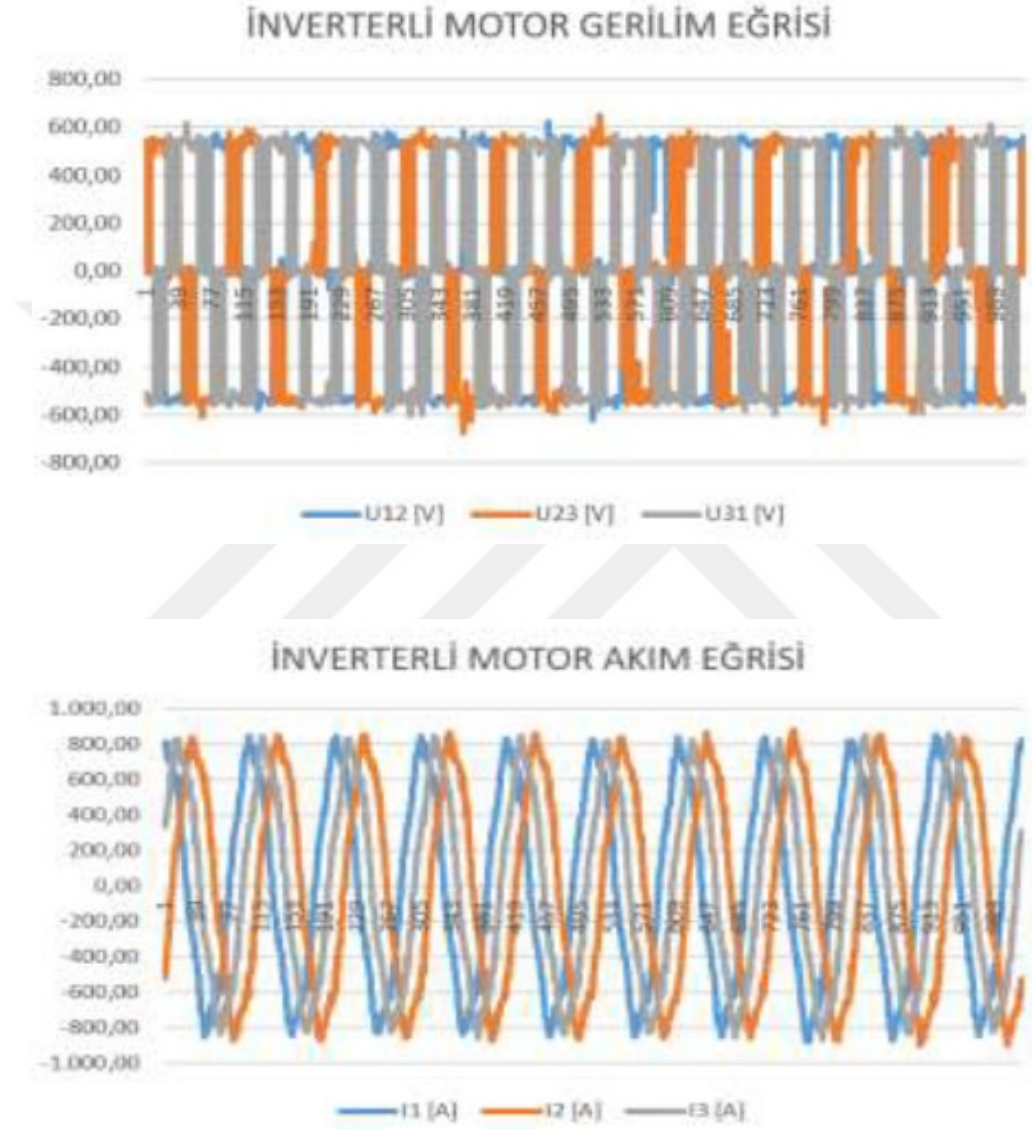
Debi : 906 l/s

Ortalama Faz-Faz Gerilimi: 400 V

Ortalama Faz Akımı: 542 A

Ortalama Giriş Gücü: 327,96 kW

Çıkış Gücü : 315,06 kW



Şekil 4.6: IE4 verimli asenkron motorun giriş gerilim-akım değerleri

IE4 verimli sürücülü asenkron motorun yükünün performans kaybı oluşturmadan (vane kısma olayı yapılmadan) sürücü üzerinden frekans üzerinde oynama yapılarak oransal olarak verebilmesi de mümkündür. Bu durumlarda motorun harcadığı güçler şu şekildedir.

Motorun %75 yükte çalışma durumu:

Ortalama Faz-Faz Gerilimi: 400 V

Ortalama Faz Akımı: 421 A

Ortalama Giriş Gücü: 245,46 kW

Motorun %50 yükte çalışma durumu:

Ortalama Faz-Faz Gerilimi: 400 V

Ortalama Faz Akımı: 306 A

Ortalama Giriş Gücü: 162,18 kW

Tablo 4.1: Ana pompa istasyonunda mevcut ve yeni elektrik motorların karşılaştırılması.

Motor	Gerilim (V)	Frekans (Hz)	Güç (kW)	n (d/d)	I (A)	Cosφ	Verim (%)
Bilezikli Asenkron Motor Tam Yükte	400	50	336,312	1000	600	0,81	93,66
IE4 Verimli Asenkron Motor Tam Yükte	400	50	327,956	1000	542	0,87	96,1
IE4 Verimli Asenkron Motor %75 Yükte	400	37,5	245,463	750	421	0,84	96,4
IE4 Verimli Asenkron Motor %50 Yükte	400	25	162,178	500	306	0,77	96,2

4.3 Enerji Tasarruf Analizi

Denklem (4.1)' de yıllık elektrik enerjisi tasarrufu (kWh) hesaplanmakta olup, motor milinden aynı çıkış gücünü elde edebilmek için mevcut ve yeni motorun şebekeden çekeceği güçlerin farkı ile motorların yıllık çalışma süreleri kullanılmıştır.

$$K = (P_{mm} - P_{ym}) \cdot t \quad (4.1)$$

K : Yıllık enerji tasarrufu (kWh)

P_{mm} : Mevcut elektrik motorunun şebekeden çektiği güç (kW)

P_{ym} : Yeni elektrik motorunun şebekeden çektiği güç (kW)

t : Yılda kullanım zamanı (h)

Denklem (4.2)' de yıllık elektrik enerjisi tasarrufu ve güncel sanayi elektriği kWh maliyet verileri kullanılarak tasarrufun yıllık TL değeri hesaplanmaktadır.

$$Y = K \cdot f \quad (4.2)$$

Y : Yıllık enerji tasarrufu değeri (TL)

K : Yıllık enerji tasarrufu (kWh)

f : Güncel sanayi elektriği fiyatı (TL/kWh)

Denklem (4.3)' te motor yenileme maliyeti ile yıllık tasarrufun mali değeri kullanılarak motor yenileme geri ödeme süresi hesaplanmaktadır.

$$t_0 = f_m / Y \cdot 12 \quad (4.3)$$

t_0 : Motor yenilemenin geri ödeme süresi (Ay)

f_m : Yeni motor maliyet fiyatı (TL)

Y : Yıllık enerji tasarrufu (kWh)

Mevcut bilezikli asenkron motorun ve yeni IE4 verimli sincap kafesli asenkron motorun tam yükte günde 8 saat çalışması durumunda yıllık bazda enerji tasarruf miktarı;

$$t = 8 \text{ saat} \times 30 \text{ gün} \times 12 \text{ Ay} = 2880 \text{ saat}$$

$$K = (336,31 - 328) \times 2880 = 23.933 \text{ kWh'tir.}$$

Yıllık enerji tasarrufu değeri;

Ülkemizde 1 kW elektrik için ödenen ücret 2024 yılı Kasım ayı değerleri için dağıtım bedeli dahil yaklaşık 3,51 TL'dir.

Yine Kasım 2024 ayına ait kur işlemlerine göre 1 \$ = 35 TL alınmıştır.

$$Y = 23.933 \times 3,51$$

$$Y = 84.004,83 \text{ TL'dir.}$$

Dolar bazlı tasarruf edilen tutar ise;

$$Y = 83.004,83 / 35 = 2.400 \$'dır.$$

315 kW 1000 d/dk ölçülerinde IE4 verimli sincap kafesli asenkron motor fiyatı 2024 Aralık verilerine göre 17.500 \$'dır.

Motor yenilemenin geri ödeme süresi ise;

$$t_8 = (17.500 / 2.400) \cdot 12 = 87,5 \text{ Ay'dır.}$$

Yeni IE4 verimli sincap kafesli asenkron motorun tam yükte günde 6 saat çalışması durumunda yıllık bazda enerji tasarruf miktarı;

$$t = 6 \text{ saat} \times 30 \text{ gün} \times 12 \text{ Ay} = 2160 \text{ saat}$$

$$K_1 = (336,31 - 328) \times 2160 = 17.949,6 \text{ kWh'tir.}$$

Yeni IE4 verimli sincap kafesli asenkron motorun %75 yükte günde 2 saat çalışması durumunda yıllık bazda enerji tasarruf miktarı;

$$t = 2 \text{ saat} \times 30 \text{ gün} \times 12 \text{ Ay} = 720 \text{ saat}$$

$$K_2 = (336,31 - 245) \times 720 = 65.743,2 \text{ kWh'tir.}$$

$$K_T = K_1 + K_2 = 17.949,6 + 65.743,2 = 83.692,8 \text{ kWh'tir.}$$

Yıllık enerji tasarrufu değeri;

Ülkemizde 1 kW elektrik için ödenen ücret 2024 yılı Kasım ayı değerleri için dağıtım bedeli dahil yaklaşık 3,51 TL'dir.

Yine Kasım 2024 ayına ait kur işlemlerine göre 1 \$ = 35 TL alınmıştır.

$$Y = 83.692,8 \times 3,51$$

$$Y = 293.761,73 \text{ TL'dir.}$$

Dolar bazlı tasarruf edilen tutar ise;

$$Y = 293.761,73 / 35 = 8.393 \$'dır.$$

315 kW 1000d/d ölçülerinde IE4 verimli sincap kafesli asenkron motor fiyatı 2024 Aralık verilerine göre 17.500 \$'dır.

Motor yenilemenin geri ödeme süresi ise;

$$t_0 = (17.500 / 8.393) \cdot 12 = 25,02 \text{ Ay'dır.}$$

Yeni IE4 verimli sincap kafesli asenkron motorun tam yükte günde 5 saat çalışması durumunda yıllık bazda enerji tasarruf miktarı;

$$t = 5 \text{ saat} \times 30 \text{ gün} \times 12 \text{ Ay} = 1800 \text{ saat}$$

$$K_1 = (336,31 - 328) \times 1800 = 14.958 \text{ kWh'tir.}$$

Yeni IE4 verimli sincap kafesli asenkron motorun %75 yükte günde 2 saat çalışması durumunda yıllık bazda enerji tasarruf miktarı;

$$t = 2 \text{ saat} \times 30 \text{ gün} \times 12 \text{ Ay} = 720 \text{ saat}$$

$$K_2 = (336,31 - 245) \times 720 = 65.743,2 \text{ kWh'tir.}$$

Yeni IE4 verimli sincap kafesli asenkron motorun %50 yükte günde 1 saat çalışması durumunda yıllık bazda enerji tasarruf miktarı;

$$t = 1 \text{ saat} \times 30 \text{ gün} \times 12 \text{ Ay} = 360 \text{ saat}$$

$$K_3 = (336,31 - 162,178) \times 360 = 62.687,5 \text{ kWh'tir.}$$

$$K_T = K_1 + K_2 + K_3 = 14.958 + 65.743,2 + 62.687,5 = 143.388,7 \text{ kWh'tir.}$$

Yıllık enerji tasarrufu değeri;

Ülkemizde 1 kW elektrik için ödenen ücret 2024 yılı Kasım ayı değerleri için dağıtım bedeli dahil yaklaşık 3,51 TL'dir.

Yine Kasım 2024 ayına ait kur işlemlerine göre 1 \$ = 35 TL alınmıştır.

$$Y = 143.388,7 \times 3,51$$

$$Y = 503.294,34 \text{ TL' dir.}$$

Dolar bazlı tasarruf edilen tutar ise;

$$Y = 503.294,34 / 35 = 14.380 \$'dır.$$

315 kW 1000 d/dk ölçülerinde IE4 verimli sincap kafesli asenkron motor fiyatı 2024 Aralık verilerine göre 17.500 \$'dır.

Motor yenilemenin geri ödeme süresi ise;

$$t_0 = (17.500 / 14.380) \cdot 12 = 14,60 \text{ Ay'dır.}$$

Bu yenileme işlemi ile;

1. Yeni motor da tam yükte %2,47 oranında daha az elektrik tüketilmiştir. Günlük 8 saat çalışma durumuna göre yıllık olarak 23.933 kWh enerji tasarruf elde edilmiştir.
2. Yeni motor %75 yükte %8,6 oranında daha az elektrik tüketilmiştir. Günlük 8 saat çalışma durumuna göre yıllık olarak 83.692,8 kWh enerji tasarruf elde edilmiştir.
3. Yeni motor %50 yükte %14,77 oranında daha az elektrik tüketilmiştir. Günlük 8 saat çalışma durumuna göre yıllık olarak 143.388,7 kWh enerji tasarruf elde edilmiştir.
4. Frekans üzerinde oynayarak yeterli debi miktarı gönderilerek hem enerji verimliliği hem de su verimliliği sağlanmıştır.

4.4 Asenkron Motorlarda Enerji Verimliliği Hata Analizi

Sistem üzerinde çalışan asenkron motorlar üzerinde maksimum fayda sağlayabilmek için motorların etiket (anma gücü, devir, verim vb.) değerlerine dikkat etmek gerekir. Kullanım ömürlerine göre yılda 2000 saatten fazla kullanıma sahip, 15kW ve üzeri motorlar değerlendirmeye alınmalıdır [26].

4.4.1 Güç Dağılımı

Güç dağılımı, rotor kaymasıyla doğrudan ilişkilidir. İç güç, kayma oranı s kadar rotor kayıp gücüne, $1-s$ oranında ise faydalı mekanik güce dönüşür. Bu temel prensip, kaymanın güç dağılımındaki kritik önemini ortaya koymaktadır. Anma çalışmasında faydalı gücün maksimize edilmesi ve kayıp gücün minimize edilmesi için kayma oranı mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Genelde asenkron makine, enerji verimliliği ve ısınma açısından büyük kayma değerlerinden kaçınarak çalıştırılmalıdır. Uygulamada da bu prensibe uyulur ve anma kayması genellikle yüzde birkaç gibi düşük bir seviyede sabitlenir. Böylece anma çalışma koşullarında elektrik gücünün büyük bir bölümü mekanik güce dönüşür [27].

Örneğin, kayma oranı $s = \%4$ olduğunda, iç gücün $\%4$ ' ü rotor kayıp gücü olarak ayrılırken geri kalan $\%96$ ' sı iç mekanik güce yönelir. Ancak durma anında iç gücün tamamı rotor devresinde kayıp olarak harcanır, çünkü hareket olmadığı için iç mekanik güç sıfır olur [27].

4.4.2 Verim

Bir elektrik motorunun bağlı olduğu şebekeden çektiği enerjinin tamamı mekanik enerjiye dönüşmez. Motor milinden elde edilen faydalı güç, şebekeden çekilen gücün, kayıplar çıkarıldıktan sonraki kısmıdır [27].

Asenkron motorun şebekeden çektiği gücün ne kadarının motor milinden mekanik güç olarak elde edildiğini, verim oranı ifade eder [27].

Asenkron motorun şebekeden çektiği elektriksel güç, wattmetrelerle oldukça hassas bir şekilde ölçülebilir. Ancak motorun milinden elde edilen mekanik gücü aynı hassasiyetle

ölçmek mümkün değildir. Bu nedenle, bir motorun verimini belirlerken kayıpların hesaplanması yöntemi tercih edilmektedir [27].

Etiketinde belirtilen nominal gerilim seviyesinden yalnızca %10 oranında farklı bir gerilim uygulanabilir. Ancak, bu %10' luk sınırlar içerisinde dahi, motor nominal gerilimin altında çalıştırıldığında, gerekli yük momentini sağlamak için daha yüksek akım çekecektir. Bunun sonucunda, motorda oluşan bakır kayıpları ($I^2 \times R$) artar ve bu durum verimi düşürür [25].

Motor etiketinde belirtilen gerilim değerinin üzerinde bir gerilimle çalıştırıldığında, mıknatıslanma akımı gerilimin karesiyle orantılı olarak artış gösterir. Motorun tasarım ve çalışma bölgesine bağlı olarak, bu durumda doyma durumu oluşabilir. Gerilimin %10'dan fazla artması hâlinde stator ve rotor demir kayıpları yükselir, bu da motorun veriminde düşüşe yol açar. Bunun yanı sıra güç faktörü de belirgin bir şekilde azalır. Tablo 4.2' de, besleme gerilimindeki artış ve düşüşlerin motor verimi üzerindeki etkileri detaylı olarak gösterilmiştir [25].

Tablo 4.2: Besleme gerilimindeki değişimlerim motor verimine etkisi [25].

Standart Motor Verimi	Gerilim Değişiminin Etkisi		
	%90 gerilimde	%110 gerilimde	%120 gerilimde
Tam yükte	%0,5-1 artar	%1-4 azalır	%7-10 azalır
%75 yükte	%1-2 azalır	%2-5 azalır	%6-12 azalır
%50 yükte	%2-4 Artar	%4-7 azalır	%14-18 azalır

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik motorlarında çekilen güç, devir sayısının küpüyle orantılı olarak değişir. Gereken akış miktarının yarıya düşmesi, çekilen gücün 8 kat azalmasına neden olur. Geleneksel akış kontrol yöntemlerinde motor, şebekeye doğrudan bağlı olup sabit hızda çalıştığı için akış miktarından bağımsız olarak sürekli aynı seviyede enerji tüketir. Bu nedenle, enerji tasarrufu ancak akış miktarına göre hız kontrolü yapıldığında sağlanabilir. Hız kontrolü uygulanmadığı durumlarda ise enerji tasarrufu, yüksek verim sınıfına sahip motorların tercih edilmesiyle mümkün hale gelir [24].

Bu çalışmada; tesiste bulunan bilezikli asenkron motorların tam yükte çalışma zorunluluğu nedeniyle 1200 l/s debi ölçülerinde çalışan arıtma tesisine sağlanan ham suyun yeterli seviyede gönderilebilmesi için yapılan vana kısılması olayı sonucu oluşan performans kayıplarının da önüne geçilmesi değerlendirilmiştir.

Verimleri açısından karşılaştırılan IE4 verimli invertörle yol verilen asenkron motorlar, redresörle yol verilen bilezikli asenkron motorlara göre tam yükte çalıştırılmak suretiyle %2,47 oranında daha az elektrik tükettiği belirlenmiştir. Motorların günlük 8 saat çalışması üzerinden yapılan hesaplamalara göre invertörlü IE4 asenkron motorun yıllık enerji tasarrufu 23.933 kWh olarak belirlenmiştir.

Ülkemizde 1 kW elektrik için ödenen ücret 2024 yılı Kasım ayı değerleri için dağıtım bedeli dahil yaklaşık 3,51 TL'dir. Yine 2024 yılı kasım ayı kur değeri üzerinden (1 \$ = 35 TL) işlem yapıldığında; Tesiste yapılan iyileştirmelerle bir motorun tam yükte çalışması sonucu elde edilen elektrik enerjisinin yıllık yaklaşık 2400 \$, motorun %75 yükte kullanım durumunda ise yıllık yaklaşık 8393 \$ gibi maliyetinde kazanımı olacağı belirlenmiştir. Buna göre tesiste yapılacak tadilat ve ek imalatların maliyetlerine ve motorların kullanım şartlarına bağlı olarak minimum 25 ayda, maksimum ise 88 ayda toplam giderleri karşılayacağı değerlendirilmiştir.

Belirlenen geri dönüşüm süreleri firmaların vermiş olduğu farklı fiyatlandırmalardan ve çalışma şartlarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Motorların fiyatlarının belirginliği ve çalışma şartlarının netleştirilmesi halinde söz konusu geri dönüşüm sürecinin aralığı bu kadar büyük olmayacaktır. Öneriler doğrultusunda yapılacak çalışmalar, müteakip bilimsel ortamlarda bilgi paylaşımı olarak sunulacaktır.

Zaman içinde artan farkındalık ve tasarruf gereklilikleri, sanayide değişken hız sürücüsü (DHS) ile çalışan elektrik motorlarının kullanımının giderek yaygınlaşacağını göstermektedir. Bu bağlamda, işletmelerin yalnızca tam yükte değil, çeşitli yük noktalarında ortaya çıkan kayıpları ve verimlilik değerlerini titizlikle izlemeleri gerekeceği öngörülmektedir [22].

Elektrik motorlarında enerji verimliliğini artırmak için genel uygulamalarda, yüksek verimli motorların kullanımı, değişken hızlı AC motor sürücülerinin tercih edilmesi ve

motoru besleyen elektrik enerjisinin kalitesine özen gösterilmesi önemlidir. Bunun yanı sıra, güç aktarma organlarının doğru seçimi, uygunsuzlukların giderilmesi ve titreşimlerin engellenmesi gibi unsurlar hem elektrik motorlarının enerji sınıflandırmasını hem de motorların kullanıldığı sistemlerin genel verimliliğini doğrudan etkiler. Ayrıca, elektrik motorlarının doğru şekilde çalıştırılması da performansı etkileyen kritik faktörler arasında yer alır. Arızalı motorların değiştirilmesi veya tamir edilmesi gerektiğinde ise ortaya çıkabilecek kayıplar ve enerji verimliliği durumu, ekonomik fizibilite analizlerine göre değerlendirilerek tamir mi yoksa değişim mi yapılacağına karar verilmelidir [23].

Elektrik motor sistemlerinde enerji tasarrufu potansiyelinin yalnızca yaklaşık %10' u verimlilik artışı ile elde edilebilirken, kalan %90' lık tasarruf ancak motorların invertör sistemleriyle donatılmasıyla mümkün hale gelir.



KAYNAKLAR

- [1] Anonim1, <https://www.eif2050.com/tr/blog/baraj-nedir-ne-i-se-yarar-turkiye-deki-barajlar>, 01.01.2025
- [2] Doğan, İ., M., 2022, “Terfi Merkezleri Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve Enerji İhtiyacını Destekleyecek Güneş-Rüzgar Hibrit Sisteminin Tasarımı Optimizasyonu: Kağıthane Terfi Merkezi Örneği”, Doktora Tezi, Ö
- [3] Anonim2, <https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/asenkron-motorlar-9480>, 15.11.2024
- [4] Anonim3, <https://www.gamak.com/elektrik-motoru-nedir>, 04.01.2025
- [5] Kartal, M., Y., 2018, “3 Faz Asenkron Motor Verimlilik Ve Yenileme Karlılık Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, 1
- [6] Kavak, R., 2019, “Üç Fazlı Yedi Seviyeli İnverter İle Asenkron Motor Hız Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, 2
- [7] Bayram, L., 2007, “Asenkron Motorun Hızının Sensörsüz Olarak Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, 1-2
- [8] Boldea, I. ve Nasar, S., Y., (2009), “The Induction Machine Handbook (Second Edition)”, CRC Press
- [9] MarketsandMarkets, (2015), “Induction Motor Market Worth \$15,810.3 Million By 2019”, <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/induction-motor.asp>, 23.08.2016
- [10] Madescu, G., Boldea I. ve Miller T. J. E., (1996), “The Optimal Lamination Approach (OLA) To Induction Machine Design Global Optimization,” Industry Applications Conference, Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS ‘96., Conference Record of the 1996 IEEE, San Diego, CA, 1996, pp. 574-580 vol.1
- [11] Okta, A., S., 2009, “Asenkron Motorların Gözlemleyici İle Vektör Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi
- [12] Gök, O., 2015, “Yüksek Verimli Ve Standart Verimli Sincap Kafesli Asenkron Motorların Performans Analizi”, Yüksek Lisans Tezi
- [13] Al-Qoshache, A., Z., S., 2017, “Üç Fazlı Asenkron Motorlarda IE3 Verim Sınıfına Sahip Motor Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi
- [14] Acar, Ç., 2018, “Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılan Asenkron Motorlarda IE2 Verim Sınıfından IE4 Verim Sınıfına Geçiş Amaçlı Bir Çalışma”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
- [15] İmre, M., 2019, “Asenkron Motorlarda Sargı Yapısının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi

- [16] Zöhra, B., Akar, M., 2019, “Türkiye’de Verimli Motorlara Geçiş Süreci Ve Şebeke Kalkışlı Sabit Miknatıslı Senkron Motorlar”, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/887569>
- [17] Zhou W., Habetler T.G., Harley R.G., 2007, “Bearing condition monitoring methods for electric machines: A General Review”, IEEE SDEMPED, Cracow, Poland, Sep. 6-8.
- [18] Dr. Çakı E., Prof. Dr. Çakır A., 2024, “Asenkron Motorlarda Arıza Tespiti Ve Akıllı Sınıflandırma Teknikleri”, 12
- [19] Saraç, S., 1999, “Kestirici Bakım Ve Elektrik Motorlarında Titreşim Analizi İle Erken Arıza Teşhisi”, Yüksek Lisans Tezi, 5
- [20] Anonim4, https://www.emo.org.tr/ekler/14c0e1bbdd76b2f_ek.pdf?tipi=2& turu=X &sube=7, 10.02.2025
- [21] Anonim5, <https://voltmotor.com.tr/wp-content/uploads/2022/06/Volt-Motor-Teknik-Katalog22-TR-Web.pdf>, 10.02.2025
- [22] Büyük, S., Özdemir, E., 2021, “Değişken Hız Sürücüsü İle Tahrik Edilen Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği Tespitine Yönelik Ölçüm Yöntemleri Ve Standartları”, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/koufbd/issue/70941/927716>
- [23] Keleşoğlu, A., Bayır, E., Demirel, E., Y., 2023, “Elektrik Motorlarında Enerji Sınıfları Arası Tüketim Farklılıkları Ve Verimlilik Arttırıcı Metotlar”, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/somatbd/issue/79224/1238976>
- [24] Gezici, H., Kocaoğlu, S., “Akış Kontrol Sistemlerinde Kullanılan Elektrik Motorlarının Enerji Verimliliği Üzerine Etkileri”, <http://acikerisim.kirklareli.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.11857/1031/akis-kontrol-sistemleri.pdf?sequence=1&isAllowed=1>
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/somatbd/issue/79224/1238976>, 11.02.20025
- [25] Anonim5, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/3-fazl-asekron-motorlarda-arzalar-ve-verime-etkileri/4133#ad-image-0>
- [26] Ercan, A., A., 2014, “Elektrik Motorlarının Verimlilik Standartları”, Journal of ETA Maritime Science Vol. 2, No. 1, (2014), 31-40
- [27] Baykal, R., 2011, “Asenkron Motorlar Üzerine Enerji Verimliliği Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, 30-31

EKLER

EK-A: SÜRÜCÜLÜ ASENKRON MOTORU TEKNİK DÖKÜMANLARI

EK-B: SÜRÜCÜ TEKNİK DÖKÜMANLARI



SÜRÜCÜLÜ ASENKRON MOTORU TEKNİK DÖKÜMANLARI
315 kW 1000 d/dk – 315 kW 1500 d/dk

3-Phase Squirrel Cage Induction Motor Datasheet

Type Code	355L6A	Date	-
		Revision	1
Serial NO			
Rated Voltage	Δ 400V $\pm$ 5 %	Efficiency Class	IE4
Frequency	50Hz $\pm$ 2 %	Insulation Class	H (180 °C)
Duty Type	S1	Temperature Rise (B)	80 K
Cooling System	TEFC	Mounting Design	B3/IP55
ELECTRICAL DATA			
Rated Output [kW]	315	Δ Locked Rotor Cur. - I_{Δ}/I_N	7,1
Rated Speed [rpm]	990	Δ Locked Rotor Torq. - M_{Δ}/M_N	1,5
Rated Current [A]	550,0	Y Locked Rotor Cur. - I_{Δ}/I_N	-
No-Load Current [A]	160,0	Y Locked Rotor Torq. - M_{Δ}/M_N	-
Rated Torque - M_n [Nm]	3030,0	Breakdown Torque - M_k/M_n	2,0
Moment of inertia - J [kgm ²]	-	PULL UP [Nm]	
Load Characteristics (IEC 60034-2-1:2014)			
Load %	Efficiency	Current [A]	Cos Φ
100	96,6	550,00	0,85
75	96,0	460,00	0,80
50	95,8	310,00	0,78
MECHANICAL DATA			
Frame	Cast Iron	Bearing (DE)	6322 C3 SKF
Weight (KG)	-	Bearing (NDE)	6321 C3 SKF VL0241
REMARKS			
1- PTC 150 °C			
2- 6xPT100 winding			
3- 2xPT100 bearing			
PREPARED BY		APPROVED BY	
		 AEMOT AEM Elektrik ELECTRIC Motorları MOTORS San.veTic.A.Ş. Taşpınar Kasabası, Yavuzselim Mah. Gümrük Sokak. No: 61112-8520 / MERKEZ / AKSARAY / TÜRKİYE Aksaray V.D.No: 0080847988-Tel: 0.382 288 02 00 Tic.Sic.No: 8937 - Mersis No: 0008084798800013	

3-Phase Squirrel Cage Induction Motor Datasheet

Type Code	355M4B	Date	-
		Revision	1
Serial NO			
Rated Voltage	Δ 400V $\pm$ 5 %	Efficiency Class	IE4
Frequency	50Hz $\pm$ 2 %	Insulation Class	H (180 °C)
Duty Type	S1	Temperature Rise (B)	80 K
Cooling System	TEFC	Mounting Design	B3/IP55
ELECTRICAL DATA			
Rated Output [kW]	315	Δ Locked Rotor Cur. - I_d/I_N	7,5
Rated Speed [rpm]	1485	Δ Locked Rotor Torq. - M_d/M_N	1,5
Rated Current [A]	558,0	Y Locked Rotor Cur. - I_d/I_N	-
No-Load Current [A]	219,0	Y Locked Rotor Torq. - M_d/M_N	-
Rated Torque - M_n [Nm]	2020,0	Breakdown Torque - M_b/M_n	2,0
Moment of inertia - J [kgm ²]	-	PULL UP [Nm]	
Load Characteristics (IEC 60034-2-1:2014)			
Load %	Efficiency	Current [A]	Cos Φ
100	96,7	558,00	0,83
75	96,2	406,00	0,80
50	95,5	283,50	0,76
MECHANICAL DATA			
Frame	Cast Iron	Bearing (DE)	6322 C3 SKF
Weight (KG)	-	Bearing (NDE)	6321 C3 SKF VL0241
REMARKS			
1- PTC 150 °C			
2- 6xPT100 winding			
3- 2xPT100 bearing			
PREPARED BY		APPROVED BY	
		 AEM Elektrik Motorları San.veTic A.Ş. Taspinar Kasabası Yavuzselim Mah. Gümrük Sokak No: 61/1 - 46201 MERKEZ - AKSARAY/TÜRKİYE Akseray V.D.No: 0880847988-Tel: 0.382 288 02 00 Tic.Sic.No: 8937 - Mersis No: 0008084798800013	

SÜRÜCÜ TEKNİK DÖKÜMANLARI

ENGINEERING TOMORROW



Design Guide

VLT[®] AQUA Drive FC 202

110–800 kW, Enclosure Sizes D and E



vlt-drives.danfoss.com

VLT[®]

9 Teknik Özellikler

9.1 Elektriksel Veri

9.1.1 Şebeke Besleme 3x380–480 V AC

FC 202	N355		N400		N450	
Ağır/normal şart (Yüksek aşırı yük=60 s boyunca %150 akım, normal aşırı yük=60 s boyunca %110 akım)	HO	NO	HO	NO	HO	NO
400 V'da [kW] Tipik şaft çıkışı	315	355	355	400	400	450
460 V [hp]'de Tipik şaft çıkışı	450	500	500	600	550	600
Muhafaza boyutu	E1h/E3h		E1h/E3h		E1h/E3h	
Çıkış akımı (3 fazlı)						
(400 V'da) [A] sürekli	600	658	658	745	695	800
Aralıklı (60 sn aşırı yük) (400 V'da) [A]	900	724	987	820	1043	880
(460/500 V'da) [A] sürekli	540	590	590	678	678	730
Aralıklı (60 sn aşırı yük) (460/500 V'da) [A]	810	649	885	746	1017	803
KVA(400 V'da) [KVA] sürekli	416	456	456	516	482	554
KVA(460 V'da) [KVA] sürekli	430	470	470	540	540	582
Maksimum giriş akımı						
(400 V'da) [A] sürekli	590	647	647	733	684	787
(460/500 V'da) [A] sürekli	531	580	580	667	667	718
Her faz için kabloların maksimum sayısı ve boyutu (E1h)						
- Şebeke ve frensiz motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	5x240 (5x500 mcm)		5x240 (5x500 mcm)		5x240 (5x500 mcm)	
- Şebeke ve frenli motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	4x240 (4x500 mcm)		4x240 (4x500 mcm)		4x240 (4x500 mcm)	
- Fren veya rejenerasyon [mm ² (AWG)] ¹⁾	2 x 185 (2 x 350 mcm)		2 x 185 (2 x 350 mcm)		2 x 185 (2 x 350 mcm)	
Her faz için kabloların maksimum sayısı ve boyutu (E3h)						
- Şebeke ve frensiz motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	6x240 (6x500 mcm)		6x240 (6x500 mcm)		6x240 (6x500 mcm)	
- Şebeke ve frenli motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	2 x 185 (2 x 350 mcm)		2 x 185 (2 x 350 mcm)		2 x 185 (2 x 350 mcm)	
- Yük paylaşımı veya rejenerasyon [mm ² (AWG)] ¹⁾	4x185 (4x350 mcm)		4x185 (4x350 mcm)		4x185 (4x350 mcm)	
Maksimum Harici şebeke sigortaları [A] ²⁾	800		800		800	
400 V [W] ³⁾ ⁴⁾ da tahmini güç kaybı	6794	7532	7498	8677	7976	9473
460 V [W] ³⁾ ⁴⁾ da tahmini güç kaybı	6118	6724	6672	7819	7814	8527
Verimlilik ⁶⁾	0,98		0,98		0,98	
Çıkış frekansı	0-590 Hz		0-590 Hz		0-590 Hz	
Soğutucu Plaka aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	110 (230)		110 (230)		110 (230)	
Kontrol kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	80 (176)		80 (176)		80 (176)	
Güç kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	85 (185)		85 (185)		85 (185)	
Fanın güç kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	85 (185)		85 (185)		85 (185)	
Aktif demeraj akımı kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	85 (185)		85 (185)		85 (185)	

Tablo 9.1 Teknik Özellikler, Şebeke Beslemesi 3x380–480 V AC

FC 202	N500		N560	
Ağır/normal şart (Yüksek aşırı yük=60 s boyunca %150 akım, normal aşırı yük=60 s boyunca %110 akım)	HO	NO	HO	NO
400 V'da [kW] Tipik şaft çıkışı	450	500	500	560
460 V [hp]'de Tipik şaft çıkışı	600	650	650	750
Muhafaza boyutu	E2h/E4h		E2h/E4h	
Çıkış akımı (3 fazlı)				
(400 V'da) [A] sürekli	800	880	880	990
Aralıklı (60 sn aşırı yük) (400 V'da) [A]	1200	968	1320	1089
(460/500 V'da) [A] sürekli	730	780	780	890
Aralıklı (60 sn aşırı yük) (460/500 V'da) [A]	1095	858	1170	979
KVA(400 V'da) [KVA] sürekli	554	610	610	686
KVA(460 V'da) [KVA] sürekli	582	621	621	709
Maksimum giriş akımı				
(400 V'da) [A] sürekli	779	857	857	964
(460/500 V'da) [A] sürekli	711	759	759	867
Her faz için kabloların maksimum sayısı ve boyutu (E2h)				
- Şebeke ve frensiz motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	6x240 (6x500 mcm)		6x240 (6x500 mcm)	
- Şebeke ve frenli motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	5x240 (5x500 mcm)		5x240 (5x500 mcm)	
- Fren veya rejenerasyon [mm ² (AWG)] ¹⁾	2 x 185 (2 x 350 mcm)		2 x 185 (2 x 350 mcm)	
Her faz için kabloların maksimum sayısı ve boyutu (E4h)				
- Şebeke ve frensiz motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	6x240 (6x500 mcm)		6x240 (6x500 mcm)	
- Şebeke ve frenli motor [mm ² (AWG)] ¹⁾	2 x 185 (2 x 350 mcm)		2 x 185 (2 x 350 mcm)	
- Yük paylaşımı veya rejenerasyon [mm ² (AWG)] ¹⁾	4x185 (4x350 mcm)		4x185 (4x350 mcm)	
Maksimum Harici şebeke sigortaları [A] ²⁾	1200		1200	
400 V [W] ³⁾⁴⁾ da tahmini güç kaybı	9031	10162	10146	11822
460 V [W] ^{3) 4)} da tahmini güç kaybı	8212	8876	8860	10424
Verimlilik ⁶⁾	0,98		0,98	
Çıkış frekansı [Hz]	0-590		0-590	
Soğutucu Plaka aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	110 (230)		100 (212)	
Kontrol kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	80 (176)		80 (176)	
Güç kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	85 (185)		85 (185)	
Fanın güç kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	85 (185)		85 (185)	
Aktif demeraj akımı kartı aşırı sıcaklık alarmı [°C (°F)]	85 (185)		85 (185)	

Tablo 9.2 Teknik Özellikler, Şebeke Beslemesi 3x380-480 V AC

1) Amerikan Kablo Çapı.

2) Sigorta değerleri için bkz. bölüm 9.7 Sigortalar.

3) Normal koşullarda tipik güç kaybının ± 1.5 dahilinde olması beklenmektedir (tolerans voltajdaki değişimlerle ve kabloların durumları ile ilgilidir). Bu değerler tipik motor verimliliğine bağlıdır (IE/IE3 sınır hattı). Daha düşük verimli motorlar, sürücüde güç kaybına yol açar. Bu, sürücü soğutmasının boyutlandırılması için de geçerlidir. Anahtarlama frekansı varsayılan ayardan yüksekse güç kayıpları artabilir. LCP ve tipik kontrol kartının güç tüketimleri dahildir. EN 50598-2'ye göre güç kaybı verileri için www.danfoss.com/vltenergyefficiency adresine bakınız. Seçenekler ve müşteri yükü, genellikle tamamen yük kontrolü bir kart veya A ile B yuvaları seçenekleri 4'er W ilave ettiğinden kayıplara 30 W'a kadar ilave yapabilir.

4) Nominal yükte ve nominal frekansta 5 m'lik (16,4 ft) korumalı motor kabloları kullanılarak ölçülmüştür. Nominal akımda ölçülen verimlilik. Enerji verimliliğini sınıfı için bkz. bölüm 9.4 Ortam Koşulları. Parça yük kayıpları için bkz. www.danfoss.com/vltenergyefficiency.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Yalova’da tamamladı. 1995 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında mezun oldu. 2002-2009 yılları arasında Yalova Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde, 2009-2015 yılları arasında Yalova Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığında elektrik mühendisi olarak görev yaptı. 2016 yılından beri Yeşil Körfez Su Birliği Başkanlığı İçme Suyu Arıtma Tesisinde elektrik mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Doğan, M., Yüksel, F., İçme Suyu Arıtma Tesisinde Ham Su Pompasında Kullanılan Asenkron Motorların Yol Verme İşlemlerinin Karşılaştırılması ve Ekonomik Analizi, International 6th Bursa Scientific Research Congress, 24-26 Aralık 2024, Bursa, Türkiye

